

# 1 过程设备用焊接方法与工艺

焊接是锅炉和压力容器等过程设备制造中的基本加工方法，对可靠性具有直接影响。有关焊接的理论与知识范围很广，本章重点介绍过程设备制造中主要应用的焊接方法及其相关问题。

根据焊接过程的特点，金属的焊接分为熔化焊与加压焊两大类。每一类又包括许多不同的焊接方法。压力容器等过程设备制造中，主要采用熔化焊。特别是手工电弧焊、埋弧焊、气体保护焊和电渣焊等，是目前广泛应用的焊接方法，其基本原理与应用对比见表 1-1。

表 1-1 过程设备用熔化焊焊接方法基本原理与应用

| 焊接方法  | 原理及特点                                  | 用 法                 |
|-------|----------------------------------------|---------------------|
| 手工电弧焊 | 利用电弧热量熔化焊条和母材，形成焊缝的一种焊接方法              | 应用范围广泛，可焊接各种位置      |
| 电渣焊   | 利用电流通过熔渣产生的电阻热来熔化金属，它的加热范围大，对厚的焊件能一次焊成 | 适于焊接大型和厚的工件         |
| 气体保护焊 | 采用氩气、氮气、二氧化碳、氢气等保护焊接熔池，使之与空气隔绝的焊接方法    | 用于合金钢、铜、铝、钛等有色金属的焊接 |
| 埋弧焊   | 电弧在焊剂层下燃烧，焊缝成型美观，质量好                   | 适用于长焊缝、深厚焊缝的焊接，生产率高 |
| 等离子焊  | 气体在电弧内电离后，再经热收缩效应和磁收缩效应产生能量密度大的高温热源    | 可焊接不锈钢、耐热钢、高强钢及有色金属 |

大多数熔化焊都是以电弧为热源进行焊接的。因此电弧和电源的特性是焊接过程稳定进行的关键因素。

## 1.1 焊接电弧与焊接电源

手工电弧焊、埋弧焊、气体保护焊等常用焊接方法，都是以电弧为热源进行焊接的。了解和掌握焊接电弧和电源的特点有助于更好地运用这些焊接方法。

### 1.1.1 焊接电弧的温度分布与磁偏吹

电弧是各种焊接方法中用来加热金属的热源，焊接电弧是在加有一定电压的电极与工件之间的一种强而有力的气体放电现象。当气体被加热到高温时，产生了大量带电荷的离子和电子，这样便能传导电流，即把电能转化为热能和光能。电极可以是钨极、碳棒或焊条，一般手工电弧焊都使用焊条。

电弧引燃后，弧柱中充满了高温电离气体，发出大量的光和热，电弧的热量与焊接电流和电压的乘积成正比。电流越大，电弧产生的总热量就越大。一般说来，电弧热量在阳极产生较多，约占电弧总热量的 43% 左右；阴极区因放出大量电子而消耗一点的能量，故产生的热量较少，约占 36% 左右；其余 21% 左右是在弧柱中产生。但在一般电弧焊接过程中，弧柱的热量不能用于对焊条或工件的直接加热，大部分散失在电弧周围或飞溅的金属滴中。焊条和母材的熔化主要是靠阳极（正极）区或阴极（负极）区所产生的热量，弧柱区的辐射热属次要地位。

电弧中阳极和阴极的温度因电极材料（主要是电极熔点）不同而有所不同。用钢焊条焊接钢材时阳极温度约为 2600K，电弧中心温度最高可达 6000K 以上。

由于电弧产生的热量在阳极和阴极上有一定的差异，以及其他一些原因，故用直流电焊机焊接时有两种不同的接法，正接和反接。

如图 1-1 所示，正接是将工件接到正极，焊条（或电极）接到负极，此时对工件加热较多，焊缝熔深大一些；反接是将工件接到负极，焊条（或电极）接到正极，此时焊条加热较多，熔化速度较快。

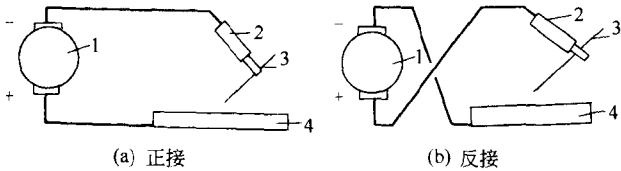


图 1-1 用交流电焊机焊接时的正接与反接  
1—直流电焊机；2—焊钳；3—焊条；4—工件

如果连接时使用的是交流电焊机，因电流每秒钟正负变换达一百次，所以两极加热一样，温度均在 2500K 左右，不存在正接或反接问题。

由于电弧是电离气体构成的软性导体，所以受到外力作用时易发生偏摆。电弧偏离电极轴线的现象称为电弧的偏吹。电弧偏吹常使电弧燃烧不稳定，影响焊缝成形和焊接质量。电弧受侧向气流干扰、焊条药皮厚度不均或局部脱落均会引起电弧偏吹。

采用直流电源时，因焊接电流和电压产生的磁场作用引起的电弧偏吹，称为磁偏吹。导线接线位置或电弧附近有铁磁体等都会引起磁偏吹，如图 1-2（a）、（b）所示。焊接电流越大，磁偏吹越严重。交流焊接时，由于交流电在工件中产生涡流，其磁通与焊接电流的磁通方向相反，二者互相抵消，因而交流焊接时磁偏吹很小。

焊接操作时将焊条向图 1-2（c）所示方向倾斜或压低电弧，均可减小偏吹程度。

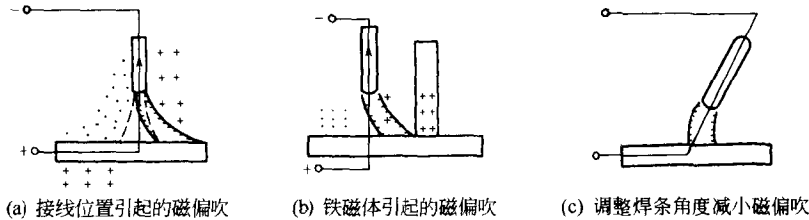


图 1-2 电弧的磁偏吹及控制措施

1.1.2 焊接电弧的静特性与弧焊电源的外特性

(1) 电弧静特性

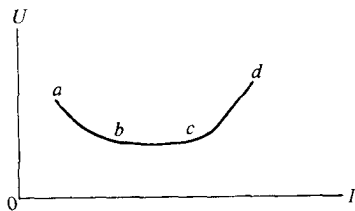


图 1-3 电弧的静特性曲线

在电极材料、气体介质和弧长一定的情况下，电弧稳定燃烧时，焊接电流与电弧电压的变化关系称为电弧静特性或伏-安特性，表示它们之间关系的曲线为电弧的静特性曲线。如图 1-3 所示，电弧的静特性曲线呈 U 形，ab 段电流很小，电弧电阻随电流的增加而减小，电弧电压随电流的增加而下降，是下降特性段。

焊接方法不同时，其电弧静特性也可能不同。手工电弧

焊、钨极氩弧焊和埋弧焊电弧静特性相当于图 1-3 中的  $abc$  段。其中  $bc$  段是正常焊接段，电弧电压与焊接电流的大小无关，加大电流只是加强对电极材料的加热，提高熔化速度，这时的电弧电压取决于电极材料、弧柱中心气体的成分和电弧长度，在电流变化时电弧电压基本不变，是平特性段。 $cd$  是上升特性段，此时维持电弧所需要的电弧电压随焊接电流的增加而增大。熔化极氩弧焊和二氧化碳气体保护焊的电弧特性相当于  $cd$  段，属上升静特性。

(2) 弧焊电源的外特性

为电弧提供电能的装置称为弧焊电源。弧焊电源有交流电源、直流电源和脉冲电源 3 种，而常用的是交流和直流两种。弧焊电源与一般的动力和照明电源有许多不同点。

弧焊电源外特性是指在稳定状态下，电源输出电压和电流之间的关系。这种关系用曲线表示通常称之为电源的外特性曲线，如图 1-4 所示曲线 1、2。一般动力、照明电要求电源在负载变化时，输出电压保持不变，因此这类电源的外特性曲线是平的，称之为平特性。这种特性不适应弧焊电源。在焊接过程中，由于熔滴过渡和热惯性以及操作等原因，电弧长度总是在不断地变化，要保证焊接质量稳定，希望焊接过程中电流变动越小越好，因此要求焊接电源有合适的下降外特性。不同的焊接方法使用具有不同外特性曲线的电源。手工电弧焊、手工钨极氩弧焊和埋弧焊的电弧静特性都呈水平直线，其静特性曲线与电源外特性曲线的交点就是电弧燃烧的工作点。从图 1-4 可以看出，外特性曲线 1 比曲线 2 下降更陡。当电弧长度变化时，具有较陡外特性时电流变化  $I$  比较小，有利于保持焊接电弧的稳定燃烧。

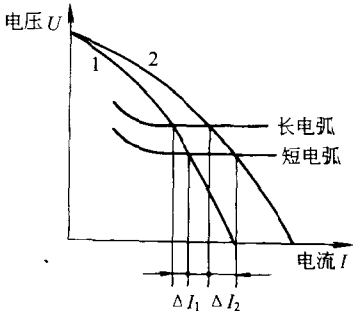


图 1-4 弧长变化时  
焊接电流的变化

1.1.3 焊接电弧稳定性的影响因素

在实际生产中，有时会存在电弧燃烧不稳定的现象，如电弧时常间断，电弧偏离焊条轴线方向或摇摆不稳等。电弧不稳会影响焊接质量，应尽量避免。除操作技术外，电弧的稳定主要与下列因素有关。

(1) 弧焊电源的种类与特性

交流电源因电弧有周期性的瞬时熄灭和重新点燃，其电弧稳定性不如直流电源好。供电网路电压波动，特别是电源电压过低时会造成引弧困难或易熄灭。对于平特性的电弧，弧焊电源的外特性必须是陡降的，其电弧才能稳定燃烧。

(2) 焊条药皮中的成分

药皮中含有 K、Na、Ca 等易电离元素较多时，电弧的稳定性好，而含有  $\text{CaF}_2$  等反电离物质时则稳定性差。另外，若焊条药皮有偏或熔点过高、受潮、变质、开裂等均会影响电弧的稳定性。

(3) 焊接环境

焊接区不洁，存在油污、氧化物、水分等，或在风速较大的环境下，也会造成电弧不稳。

1.2 手工电弧焊

通常所说的手工电弧焊是指涂药焊条的手工电弧焊。它一直是锅炉、压力容器制造中广

泛应用的一种焊接方法。它的设备简单、易于维护、使用灵活方便，可以在室内、室外和高空等各种位置施焊。对材料的适用性强，碳钢、低合金钢、耐热钢、低温用钢、不锈钢等都可以采用手工电弧焊。

在锅炉和压力容器等设备制造中，手工电弧焊多用于设备内部附件的焊接和支座、接管与开孔补强等部位的焊接。对于单件生产的设备，其他焊缝也采用手工电弧焊。对于某些特殊类型的设备，如绕带容器，或因空间位置焊缝较多，或短焊缝多，也主要采用手工电弧焊。有些压力容器的打底焊，亦采用手工电弧焊。

### 1.2.1 手工电弧焊的焊缝形成过程

手工电弧焊是利用焊条与工件间产生的电弧热，将工件和焊条加热熔化而进行焊接的，其焊缝形成过程如图 1-5 所示。电弧在焊条与被焊工件间燃烧，焊条熔化后形成熔滴，熔滴脱离焊条端向母材运动并和熔化的母材金属混在一起形成液态的“焊接熔池”。熔池处于电弧中心位置，熔池中的金属总是处于过热的液体状态，这与炼钢炉的熔池类似。电弧热还同时使药皮熔化或燃烧。药皮熔化后滴入熔池，和液体金属起作用，所形成的熔渣和气体不断地从熔池中向上浮起并逸出。药皮燃烧时，还产生大量二氧化碳气流包围在电弧周围。熔渣和气流可以保护熔化金属，以减少空气中氧、氮的有害作用。

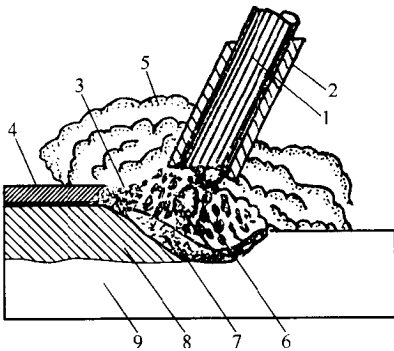


图 1-5 手工电弧焊焊缝形成过程

- 1—焊芯；2—药皮；3—液态熔渣；  
4—固态熔渣；5—气体；6—熔滴；  
7—电弧；8—焊缝金属；9—工件

当电弧向前移动时，工件和焊条金属不断熔化形成新的熔池。原先的熔池则不断地冷却凝固构成连续的焊缝。焊缝凝固的速度大致相当于电弧向前移动的速度。

覆盖在熔池表面的熔渣，也随之逐渐凝固成为固态渣壳，这层熔渣和渣壳对减缓焊缝金属的冷却速度和保证焊缝质量，具有重要作用。

### 1.2.2 手工电弧焊接工艺

广义的焊接工艺是指制造焊接产品所有有关加工方法和实施要求，包括焊前准备、焊接材料选择、焊接方法、焊接规范参数和操作要求等。而手工电弧焊的焊接工艺是指具体的焊接规范参数和焊接技术。

#### （1）焊接规范参数

焊接规范是进行焊接时影响焊接质量和生产效率的各个工艺参数的总称。手工电弧焊焊接规范通常是指焊条牌号及直径、电源种类和接法、焊接电流大小、焊接层数和焊接速度等。其中最重要的是焊接电源和焊接速度，因为这两个参数决定了焊接过程的线能量和焊缝金属的性能。

焊条牌号与直径焊条牌号选择可参见第 2 章。焊条直径与焊件厚度、焊缝位置和焊缝层数等因素有关，但主要根据被焊工件的厚度和位置来选择，直径 3~5mm 的焊条应用最广。平焊时，应尽可能选用较粗的焊条以提高生产率。但对多层焊的第一层焊道，应使用较小直径的焊条，以保证根部焊透。以后各层则根据板厚采用  $\phi 4 \sim \phi 6\text{mm}$  的焊条。小直径管子对接焊缝和薄板焊接一般采用  $\phi 2.5 \sim \phi 3.2\text{mm}$  焊条。立焊、仰焊和其他难焊位置时，推荐采用  $\phi 3.2 \sim \phi 4\text{mm}$  焊条，以防熔化金属流失而形成焊瘤。一般情况下，焊条直径可参考表 1-2 来选定。

表 1-2 根据工件厚度选择焊条直径

mm

|        |       |       |       |      |     |
|--------|-------|-------|-------|------|-----|
| 焊接工件厚度 | ≤2    | 3     | 4~5   | 6~12 | >12 |
| 焊条直径   | 1.6~2 | 3~3.2 | 3.2~4 | 4~5  | 4~6 |

焊接电流一般来说，增大电流，能增加熔深，提高生产效率。但电流过大易造成咬边、烧穿和严重飞溅；电流过小则电弧不稳，焊条易粘住焊件或不易焊透。在平焊时，焊接电流可根据焊条直径由下式决定

$$I=(30\sim 50)d\quad A$$

式中， $d$  为焊条直径 (mm)；30~50 为系数，与焊条性质、焊接位置和接头形式有关。如不锈钢焊条电阻较大，易过热发红，应取低系数；丁字和十字接头散热方向多，故电流应比对接接头大；工件厚度大时，电流也应相应增大，而薄件电流应相应减少。若气温低，热量损失大，也应加大电流。焊接电流与焊条直径的关系见表 1-3

表 1-3 焊接电流与焊条直径的关系

|         |       |         |         |         |
|---------|-------|---------|---------|---------|
| 焊条直径/mm | 2.5   | 3.2     | 4       | 5       |
| 焊接电流/A  | 50~80 | 100~130 | 160~210 | 200~270 |

电弧电压电弧电压由弧长决定。弧长是指从熔化的焊条端部到熔池表面的距离。电弧长时，电压高；电弧短时，电压低。手工电弧焊掌握合适的弧长对焊制优质的焊缝是相当重要的。缩短电弧长度，可提高焊接电流，增加熔敷速度；拉长电弧会减小电弧的挺度，增大电弧热量的散失，加剧熔化金属的飞溅，降低熔敷速度，且容易引起咬边，未焊透等缺陷。因此，焊接时，应在保证不短路的情况下，力求采用短弧。通常，弧长应略小于焊条芯直径，在使用低氢型碱性焊条时，应尽量缩短电弧。当电弧发生偏吹时，也可以用压低电弧的办法来减小偏吹。但是，对于某些酸性药皮焊条，焊接时应保持适当的较长的电弧，以使药皮充分燃烧而获得良好的保护。

使用低氢型碱性焊条时，电弧电压应控制在 20~22V，而使用酸性焊条时，电弧电压的最佳范围是 25~28V。

电源极性如图 1-1 所示，在采用直流焊机时，有正接和反接两种不同接法。正接时工件与焊机正极相连，此时母材熔池温度较高，熔深大，有利于厚板焊接；反接时焊条与焊机正极相连，此时焊条端温度较高，其熔化速度较快，有利于提高焊接速度。使用低氢型焊条时一般均采用直流反接，此时焊接电弧稳定，飞溅较少，且有利于焊缝脱氢。在使用酸性焊条焊接厚板时，可采用直流正接；而焊薄件时，由于所需电流小，电弧不稳，故不论采用酸性还是碱性焊条都必须用直流反接。

焊接层数在中厚钢板手工电弧焊时，应采用多层焊。对于低碳钢及 16Mn 等普通低合金钢，焊接层数的多少对接头质量影响不大。但层数过少，每层厚度过大时，焊接线能量大，焊缝金属易过热，会使焊缝的塑性和韧性降低，易产生缺陷。一般按下式选取焊接层数  $n$  为

$$n=\frac{S}{d}$$

式中， $d$  为焊条直径，mm； $S$  为工件厚度，mm。

(6) 焊接速度焊接速度是指焊条对于焊件的直线运动速度。合适的焊接速度主要取

决于焊条的熔化速度、所要求的焊缝尺寸、接缝的装配质量和焊接位置等。焊接速度对焊缝的外观有直接的影响。焊接速度太快，可能使焊道成形不良，容易引起未焊透和夹渣等缺陷。焊接速度太慢会导致焊瘤、溢流等缺陷的形成。在焊接电流和电压一定时，焊接速度直接影响焊接线能量，从而对焊缝和热影响区的组织与性能造成一定的影响。焊接速度小，线能量大；反之则线能量小。对于线能量大时引起焊接区组织与性能变化的钢种，应注意采用较大的焊接速度。

在实际手工电弧焊中，焊接速度不作具体规定，电焊工视情况自行掌握。表 1-4 为部分手工电弧焊典型规范参数。

表 1-4 对接接头的典型焊接规范

| 接头形式     | 焊接位置 | 板厚/mm | 第一层焊道   |         | 其余各层焊道  |         |
|----------|------|-------|---------|---------|---------|---------|
|          |      |       | 焊条直径/mm | 焊接电流/A  | 焊条直径/mm | 焊接电流/A  |
| 直边对接     | 平焊   | 4~5   | 3.2     | 90~120  | 4       | 160~180 |
|          |      |       | 4       | 160~180 |         |         |
| 单面 V 形对接 | 平焊   | 6 以上  | 4       | 160~180 | 4       | 160~180 |
|          |      |       |         |         | 5       | 200~240 |
| X 形对接    | 平焊   | 12 以上 | 4       | 160~180 | 4       | 160~180 |
|          |      |       |         |         | 5       | 220~260 |

(2) 焊接技术

手工电弧焊的焊接技术对焊缝的质量将起决定性作用。其内容包括引弧、收弧、运条方式、焊条倾角和焊道接头方法等。

手工电弧焊的引弧方法有擦划法和碰击法两种。擦划引弧法容易掌握，但会经常擦伤坡口以外的壳体表面。因此，在压力容器的焊接中，对引弧部位都有严格的要求，决不能任意在容器壳体非焊接部位引弧，特别是在低合金高强度钢中，引弧坑往往是壳体表面微裂纹的起源地，引弧必须在坡口内壁或前层焊道上引弧，引弧点必须被电弧完全重熔。碰击引弧法虽然较难掌握，但容易满足上述要求。

焊缝末端收弧时不应突然熄灭电弧，应将焊条停止前移，维持一段时间，以填满弧坑。尤其在不锈钢焊接时，必须采用正确的收弧技术，否则容易在弧坑内形成裂纹。

手工电弧焊时，每根焊条只能焊成较短的焊缝。这样，在壁厚长焊缝中焊道间的接头数量相当多。因此必须采用正确的接头方法，以保证接头处的焊缝与前段焊道平齐，无过量的余高、凹坑和宽窄不均，否则在次层焊道焊接时非常容易产生各种缺陷。

(3) 焊接空间位置对焊接质量与工艺的影响

焊接时，按焊缝在空间位置的不同，可分为平焊缝、立焊缝、横焊缝和仰焊缝 4 种，如图 1-6 所示。

焊缝在水平位置或倾斜角在 60。以下的斜面上时，称为平焊。平焊时因焊条熔化金属受

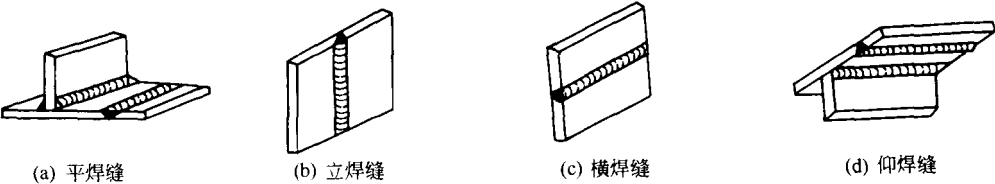


图 1-6 各种空间位置的焊缝

重力作用滴入熔池，熔化的液体金属也不易流出熔池，所以易于操作，焊接质量容易保证。此外还可使用较粗的焊条和较大的电流施焊，生产率高。因此生产过程中应尽可能把大多数焊缝放到平焊位置焊接。

立焊与横焊是指对位于与水平面成  $60^\circ \sim 100^\circ$  倾角的平面上的焊缝进行焊接。焊缝在竖直方向的称为立焊，焊缝在横直方向的称为横焊。在进行立焊与横焊时，焊条和被焊工件的熔化金属熔滴因自重容易向下坠流，常造成焊瘤、未熔合和夹渣，所以应用直径小于 4mm 的焊条，比平焊小 10%~15% 的焊接电流，采用短弧施焊。立焊时，应由下向上，适当摆动焊条进行焊接，以保证质量。进行横焊时，应尽可能将上边工件切成斜边（坡口），以便由下边工件造成一个横台托住熔化金属。但因液态金属容易向下坠流，熔渣不易浮出，易造成咬边、焊瘤、夹渣和未焊透，焊接质量较难保证。

仰焊操作最难，因焊缝位于焊接工人头部之上，劳动条件最差。熔化金属受重力作用最易下坠滴落，熔渣又难于浮出，质量不易保证，施焊时要用小直径焊条，用比平焊小 15%~20% 的电流和短弧焊接。因此，仰焊生产率最低，焊接质量较难保证，在设计与制造焊接结构时，应尽量避免采用仰焊。

### 1.2.3 手工电弧焊对接焊缝的单面焊双面成形工艺

锅炉和压力容器等过程设备，承压焊缝通常都要求完全焊透。但有时由于受结构尺寸或形状等的限制，无法在两面进行焊接，只能在一面进行焊接，且要求焊后正反两面都得到均匀整齐、成形良好和质量符合要求的焊缝。这种工艺方法就叫做单面焊双面成形焊接工艺或技术。它是过程设备焊接中应用较多和手工电弧焊中难度较大的一种工艺技术，其关键在于第一层焊缝必须熔透和无夹渣等缺陷。为此，这种工艺技术要求如下。

#### (1) 坡口加工

板厚大于 4mm 时应开坡口。开坡口是为了使焊条深入焊缝根部，保证根部焊透，便于清除熔渣和获得较好的焊缝成形，并调节母材与填充金属的熔合比。

坡口参数有张角  $\alpha$ 、钝边高  $p$  和间隙  $c$ ，如图 1-7 所示。钝边的作用主要是防止烧穿，一般以 1.5~2mm 为宜；间隙的作用是保证根部焊透，一般间隙取 2.0~3.0mm 为宜。钝边和间隙应合理配合，例如钝边过厚而间隙过小时，就可能焊不透。

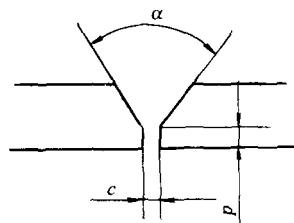


图 1-7 V 形坡口

#### (2) 焊条直径选择与烘干

焊条直径与单面熔透质量关系密切。焊条过粗会造成未焊透和成形不良；焊条过细又会降低生产效率。打底焊的第一道焊缝，其焊条可按以下推荐值确定：板厚为 4~6mm 时，焊条直径取  $\phi 2.5\text{mm}$ ；板厚为 8~20mm 时，焊条直径取  $\phi 3.2\text{mm}$ ；板厚大于 20mm 时，焊条直径取  $\phi 4\text{mm}$ 。焊条必须按要求烘干后方能使用，否则易形成焊接缺陷，影响焊接质量。

#### (3) 装配组合与坡口清理

装配组合时应保证间隙均一，防止错边超标。焊缝坡口及其两侧 20mm 以内应清理干净，除掉油污与锈蚀，否则易产生气孔、夹渣或裂纹等缺陷。

### 1.2.4 手工电弧焊的常见缺陷

各种焊接方法在焊接中难免都要产生缺陷。按存在的部位可分为外表缺陷和内部缺陷两大类。焊接缺陷对承压设备的安全危害严重，必须严格控制。但不同缺陷的危害程度有差异，裂纹、未焊透和未熔合是不允许存在的严重缺陷，必须返修除掉。有许多焊接缺陷是各

种焊接方法中共有的，如裂纹等。为此，本节仅对手工电弧焊中与操作技术密切相关的焊接缺陷作初步介绍，对于裂纹等缺陷将在第 3 章和第 6 章中作综合分析。

### (1) 焊缝表面缺陷

手工电弧焊较常见的表面缺陷有咬边、焊瘤、内凹和溢流等，如图 1-8 所示。

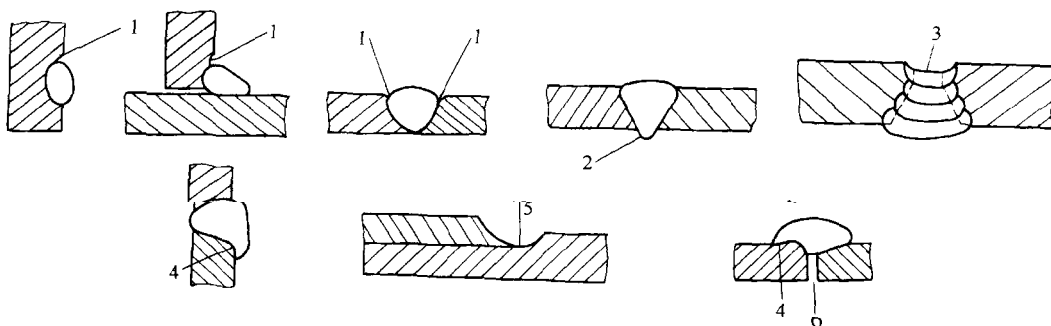


图 1-8 焊缝外表缺陷

1—咬边；2—焊瘤；3—内凹；4—溢流；5—弧坑；6—未焊透

① 咬边 是焊缝边沿低于母材表面的凹槽。在角焊缝和多道焊缝中，咬边往往在焊缝的一侧形成。咬边深度可能在 0.3~5mm 之间变动。咬边是由于电弧将焊件边沿熔化后，没有得到金属的补充造成的。过深的咬边将减弱焊接接头的强度，在咬边处将引起应力集中，有可能导致结构的破坏。咬边主要是焊接电流太大和运条不当造成的。对于角焊，则是由于焊条角度或电弧长度不适当而造成的。

② 焊瘤 是根部焊缝背面局部突出的焊肉。这种缺陷多半出现于单面焊双面成形的焊缝中。焊接过程中，焊缝金属因自重而下坠形成。主要是因电流过大，运条慢或钝边小，间隙大等造成。焊瘤一般是单个的，但有时也会形成长条形。

③ 内凹 又称背后凹陷或塌腰，是焊缝背面低于母材表面的一种缺陷。在单面焊双面成形的手工立焊或仰焊时易产生。由于熔化金属在重力作用下产生下坠而造成。坡口间隙大、钝边小或熔池温度高时易产生内凹。

④ 溢流 又称漫溢，是在焊缝两侧母材表面上附着的多余熔化金属，但它并没有与母材熔合在一起。主要是由于坡口边缘的污物未清理干净，或电流过大，焊条金属熔化了，而母材尚未熔化而形成。

⑤ 弧坑 是焊缝收尾处产生的下陷现象。弧坑使该处焊缝的强度严重减弱，弧坑内还常有气孔、夹渣或裂纹。产生弧坑的原因，主要是熄弧时焊条未在熔池处作短时间停留，或者在薄板焊接时使用的电流过大。

### (2) 焊缝内部缺陷

内部缺陷主要有气孔、夹渣、裂纹、未熔合等，如图 1-9 所示。其中裂纹、未焊透及未熔合也部分存在于表面，但均向焊缝内部延伸，其主要影响是作用于内部。

① 气孔 焊接生产中常见的一种缺陷，可分为表面气孔与内气孔，但主要是内气孔。根据分布的情况不同，又可分为疏散气孔、密集气孔和连续气孔。气孔的大小差异也很大。气孔的存在对焊缝强度影响比较大，它使焊缝有效工作面积减少，从而降低抗外载能力，特别对弯曲和冲击韧性影响较大。而连续气孔则是导致结构破断的原因之一。

形成气孔的根本原因是焊缝金属中吸入了过多的气体，在焊缝冷却时，气体在金属中溶

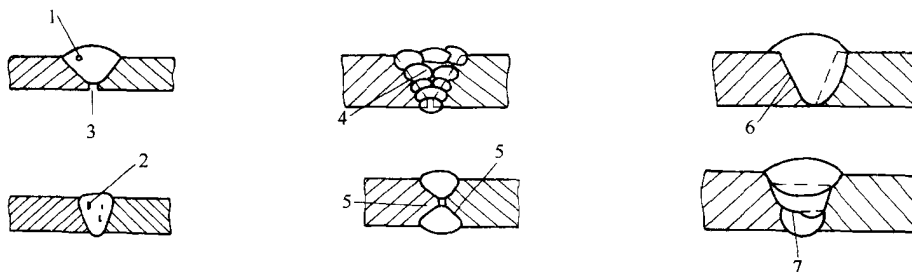


图 1-9 焊缝内部缺陷

1—气孔；2—夹渣；3—根部未焊透；4—层间未焊透；5—根部与边缘未熔合；6—边缘未熔合；7—层间未熔合

解度下降，气体逸出后形成气泡。气泡上浮时受到金属结晶的阻碍，结果残留在金属内部而形成内气孔，或者已浮到金属表面，但受到已经凝固的熔渣的阻碍，最终残留在金属表面而形成外气孔。

形成气孔的气体主要是氢和一氧化碳，有的是原来溶解于母材或焊条芯中的气体，但主要是焊接工艺方面的。例如焊条受潮或未烘干，焊件未很好清理，焊缝区有水、油、锈、油漆或气割残渣等。

夹渣焊缝中常见的一种缺陷，是焊缝中夹有的焊渣或其他杂质。在焊缝中夹渣也有多种形式，可能是单个小夹渣，也可能是长条的连续夹渣。夹渣的形状有圆形的、椭圆形的或三角形的。夹渣可能存在于焊缝与母材交接处，也可能存在于焊道与焊道之间。夹渣尖角处所引起的应力集中比气孔严重，危害更大。

熔化金属冷却过快，熔渣来不及浮出，焊件边缘清理不净和层间熔渣未完全除掉以及电流太小和焊速太快等均会促使夹渣形成。

未焊透坡口间隙或边缘未被电弧熔化而留下的空隙。根据未焊透产生的部位不同，可分为根部未焊透、边缘未焊透和层间未焊透等。产生未焊透的部位也往往存在夹渣。未焊透会降低接头的机械性能，未焊透的缺口与尖角易产生应力集中，因此是压力容器等设备焊接中不允许存在的严重缺陷。

焊接电流太小，焊接速度过快，坡口角度过小，钝边太大或偏吹是产生未焊透的主要原因。

未熔合填充金属和母材之间或金属层间没有熔合在一起，即虚焊，实质是未焊上。未熔合在外力作用下极易开裂，因此也是一种不允许存在的严重缺陷。

未熔合产生的原因主要是电流过小或焊速太快，因热量不足，使母材坡口或先焊的焊缝金属未得到充分熔化，或操作不当和磁偏吹使电弧热偏于一侧，而另一侧产生未熔合。

### 1.2.5 手工电弧焊设备

#### (1) 手工电焊机的种类与型号

常用的弧焊电源分交流和直流两类。交流电源是焊接变压器，习惯称交流焊机；直流电源有焊接发电机和焊接整流器，而习惯上将焊接发电机称为直流焊机。交流电焊机是手工电弧焊中应用最广的一种供电设备，它具有构造简单、成本低、效率高、价格便宜、节省电能和维护方便等特点。交流电焊机是一个特制的降压变压器，可将初级电压 380V 或 220V 降到空载电压 60~80V，其内部加一较大感抗，以保证电弧稳定燃烧，并在一定范围内调节焊接电流的大小。常见型号为 BX1-300、BX3-300、BX3-330 等。型号中 B 表示焊接变压器，即交流焊机；X 表示下降外特性，其后数字表示焊机系列号；最后三位数字为额定电流。例

如 BX3-300，即为额定电流为 300A，具有下降特性的第三系列交流电焊机。

旋转式直流电焊机由一个发电机和一个拖动它的电动机组成，由交流网路供电使电动机旋转，带动发电机电枢旋转发出直流电供给焊接使用。焊接电流可在较大范围内均匀调节以满足焊接工艺的要求，电弧燃烧稳定。这种焊机性能可靠，是目前应用较多的直流电源。常见型号有 AX-300、AX1-500、AX3-300、AX4-400、AX9-500 等。型号中 A 表示旋转式直流弧焊机；其余同交流焊机。

硅整流式直流电焊机也称手弧焊整流器，是一种将工频交流电整流变为直流电的手弧焊设备。与旋转式直流电焊机比较，它具有噪音小（无旋转部分）、效率高、用料少、成本低等优点；但直流输出电流的波纹较大，电弧稳定性较差，对网路电压的波动较敏感。目前，这种电焊机已部分代替了旋转式直流电焊机。常见型号有 ZXG-300、ZXG-500 等。符号 Z 表示整流器焊机；G 表示整流器。

## (2) 电焊机的主要技术参数

与电焊机操作性能有关的参数主要有空载电压、工作电压、额定电流、电流调节范围和暂载率等。此处仅介绍暂载率和电流。

额定暂载率与额定电流暂载率是用来表示焊接电源工作状态的参数，它是在选定的工作时间周期内，允许焊机连续负载的时间。

众所周知焊机工作时会发热，温升过高会把焊机烧毁，一般机温不得超过 60~80℃。温升与焊接电流大小有关，同时也与焊机使用状态有关，连续运转与断续使用温升情况不一样。同样焊接电流下，长时间连续焊接时温升高，断续焊接温升就低。因此，为保证焊机温升不超过允许值，连续焊接时电流要用得小一些，断续焊接时电流可以用得大一些。即根据焊接电源的工作状态确定。

$$\text{暂载率} = \frac{\text{在选定的工作时间内负载的时间}}{\text{选定的工作时间周期}} \times 100\%$$

标准规定，500A 以下的焊机选定的工作时间为 5min。计算暂载率时，在实际工作过程中每个 5min 内测出电弧燃烧时间，代入式中即得出焊机的暂载率。如手工电弧焊时只有电弧燃烧时焊接电源才有负载，在更换焊条与清渣时焊接电源没有负载。对于任何一台焊接电源，暂载率越高，则允许焊接电流越小。

电焊机铭牌上标出的均为额定暂载率和额定电流，是焊机设计时根据其最经常的工作条件选定的。焊机工作条件变化，其暂载率和工作电流也应改变。

实际暂载率与允许工作电流由于一台焊接电源可能有各种不同的用途，如 AX1-500 可以用于手工电弧焊，也可用于埋弧焊。工作性质不同，电源的实际暂载率也不同。AX1-500 的额定暂载率是 65%，这时允许的焊接电流为 500A。用于埋弧焊时，由于焊接过程是连续的，暂载率接近 100%，这时允许的电流只有 400A。当实际工作暂载率与额定暂载率不同时，允许的焊接电流可按下式换算。

$$\text{实际允许焊接电流} = \text{额定电流} \times \left( \frac{\text{额定暂载率}}{\text{实际暂载率}} \right)^{1/2}$$

焊接电源铭牌上往往列出不同暂载率下的许用焊接电流，使用中不能超过其允许值。

## (3) 手工电弧焊机选择注意要点

应有适当的空载电压空载电压是指电焊机无负载时的输出电压。空载电压低时，常常难引弧且易断弧，但过高会增加容量，既不经济又不安全。一般来说直流焊机空载电压

为 55~90V, 交流焊机为 60~80V。

焊机类别的选择焊机类别应按焊条药皮性质确定。大多数碱性焊条必须采用直流焊机, 否则电弧不能稳定燃烧。由于硅整流焊机的各种性能目前还达不到旋转直流发电机的水平, 故对于焊接质量要求高的受压设备, 制造厂宁肯选用寿命较短、噪声较大的弧焊发电机。而且当采用大电流长时间连续焊接时, 即便所使用的电流在 300A 以下, 亦应选用额定电流较大的焊机, 如 AX5-500 型等直流弧焊发电机。这样可以避免电源过载, 延长焊机的使用寿命。

直流焊机的特点是电弧燃烧很稳定, 所以用小电流焊接时常常被选用。又因直流电可选择不同接法(正接或反接), 所以在焊接合金钢、不锈钢时, 常选用直流焊机。

但应注意, 对于锅炉和压力容器设备上的非受压元件, 应尽量采用酸性焊条, 这样可以使用交流焊机, 降低设备使用费用。

焊机输出电流调节范围应稳定针对不同材料、不同板厚和焊接位置, 所需的焊接电流是不同的。一般要求最大输出电流应为最小输出电流的 4~5 倍以上, 使电流的调节方便灵活。

### 1.3 埋弧自动焊

电弧焊过程的机械化与自动化是近代焊接技术中的一项重要发展。它不仅标志着更高的焊接生产率与更好的焊接质量, 而且也大大改善了工人的操作环境。在这类焊接技术中, 应用最多的是埋弧自动焊。

埋弧焊是一种利用在焊剂层下光焊丝和焊件之间燃烧的电弧产生的热量, 来熔化焊丝、焊剂和母材金属而形成焊缝的方法。在焊接过程中, 颗粒状的焊剂及其熔渣保护了电弧和焊接区, 光焊丝提供填充金属。

#### 1.3.1 埋弧自动焊的工作原理与特点

##### (1) 工作原理

埋弧焊可分为半自动和自动埋弧焊两种。半自动埋弧焊时, 焊头的移动由手工操作并控制焊接速度。埋弧自动焊时, 焊机的所有操作, 如起动、引弧、送进焊丝、焊机的移动及焊接结束时填满弧坑等全由焊机的各种机构完成。埋弧自动焊过程的原理如图 1-10 所示。在埋弧焊过程中, 光焊丝连续地送入覆盖焊接区的焊剂层, 电弧引燃后, 焊剂焊丝和母材立即熔化并形成熔池。熔化的熔渣覆盖住熔池及高温焊接区, 产生良好的保护作用, 如图 1-11 所示。

焊剂和熔化金属之间的各种冶金反应对焊缝金属的化学成分, 性能和纯度产生重大的影响。因此为了获得性能符合技术要求的焊缝金属, 必须正确地选配焊剂和焊丝。

##### (2) 特点与应用

埋弧自动焊(以下简称自动焊)和手工电弧焊比较有以下优点。

生产率高自动焊的电流常大到 1000A 以上, 即比手工电弧焊高 5~7 倍, 又因焊接过程中节省了更换焊条的辅助时间, 所以自动焊比手工电弧焊能提高生产率 5~10 倍。

焊接质量高而且稳定自动焊焊剂供给充足, 电弧区保护严密, 而且焊接规范可自动控制调整, 所以焊接质量高而且稳定, 焊缝表面美观平整。

节省金属及电能采用自动焊焊接时, 焊丝金属没有飞溅损失, 没有焊条头。20~

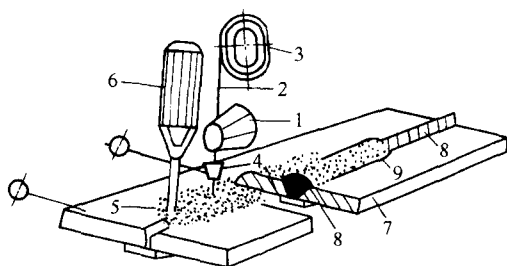


图 1-10 埋弧自动焊过程

1—自动焊机头；2—焊丝；3—焊丝盘；4—导电嘴；  
5—焊剂；6—焊剂漏斗；7—工件；8—焊缝；9—渣壳

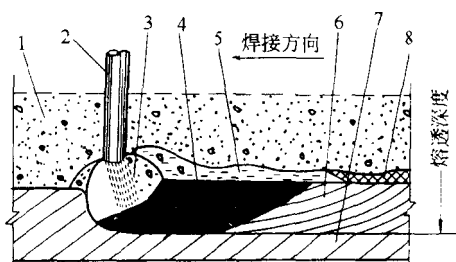


图 1-11 埋弧焊时焊缝的形成过程

1—焊剂；2—焊丝；3—电弧；4—熔池金属；  
5—熔渣；6—焊缝；7—焊件；8—渣壳

25mm以下的工件用自动焊时，也可以不开坡口，所以能节省大量焊接金属材料 and 熔化金属的电费。

改善劳动条件自动焊看不到弧光，焊接烟雾也很小，焊接时不需要焊工用手操作，所以劳动条件得到很大改善。

埋弧自动焊的缺点是占地面积较大，设备费用较高，且仅适用于平焊位置的焊接。尽管如此，由于具有上述优点，故在锅炉和压力容器制造中，埋弧自动焊是最常用的方法之一。它特别适用于厚度 20mm 以上受压壳体纵、环缝的焊接。既可焊接碳钢，也可焊接低合金钢、耐热钢和不锈钢等。但应注意，埋弧自动焊不适宜焊接薄板，因为在电流小于 100A 时，电弧的稳定性差。

### 1.3.2 埋弧自动焊接规范参数

在埋弧自动焊时，焊接规范参数对焊接质量起主要作用，而焊工的操作技术只占次要地位。埋弧自动焊的焊接规范参数主要有焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝直径和焊丝伸出长度等。但这些规范参数对焊接质量的影响是通过焊缝形状系数和熔合比来反映的。另外，焊接电源的种类和接法、坡口形式与装配间隙、焊接层数、工件预热温度等也属于焊接规范。

#### (1) 焊缝形状系数与焊缝熔合比

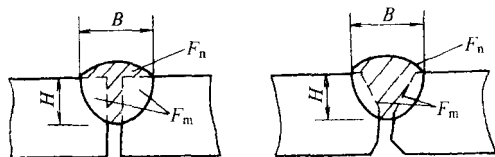


图 1-12 焊缝的形状

焊缝熔化宽度  $B$  与熔化深度  $H$  之比称为焊缝形状系数，用字母  $\Psi$  表示，即  $\Psi = B/H$ ，如图 1-12 所示。 $\Psi$  大，表示焊缝宽而浅； $\Psi$  小，则表示焊缝窄而深。一般情况下，应将  $\Psi$  控制在 1.3~2 之间，这时，焊缝比较宽且浅，有利于熔池中的气体和杂质浮出，对防止气孔、夹渣与热裂纹都比较有利。

如果  $\Psi$  选得过小，则容易产生气孔、夹渣与热裂纹等缺陷。

焊缝中母材金属熔化的横截面积  $F_m$  与焊缝金属横截面积  $(F_m + F_n)$  之比，称为焊缝金属的熔合比，用  $\gamma$  来表示，即  $\gamma = F_m / (F_m + F_n)$ 。熔合比  $\gamma$  主要影响焊缝的化学成分、金相组织和机械性能。因为熔合比的大小，表示在整个焊缝中母材金属所占的比例。由于焊丝与母材化学成分有差异，通常焊丝含碳量很低，硫、磷等有害元素更低。因此，当焊缝熔合比不同时，其化学成分、金相组织和焊接接头机械性能就会有较大的差异。所以，通过调整焊接工艺参数来改变熔合比，就常常成为提高焊接质量的一条重要途径。熔合比的变化范围很大，可在 10%~85% 内变化。实际焊接中应根据具体情况和要求对其进行适当控制。对一

般自动焊而言， $\gamma=60\%\sim70\%$ 。

(2) 主要规范参数对焊缝形状与质量的影响

电弧电压主要影响焊缝的尺寸和形状。在其他参数不变的条件下，随着电弧电压的提高，焊缝的宽度明显地增大，而熔深和余高则略有减小。电弧电压过高时，会形成浅而宽的焊道，从而导致未焊透和咬边等缺陷。此外，电弧电压过高时，焊剂的熔化量增大，焊波粗糙，脱渣困难。有时甚至会使电弧在焊剂层表面燃烧而导致气孔的形成。降低电弧电压，能提高电弧的挺度，增大熔深，减弱电弧偏吹。但是电弧电压过低时，会形成高而窄的焊缝，使边缘熔合不良。电弧电压对焊缝形状及熔深的影响如图 1-13 所示。

为使焊道成形良好，电弧电压应与焊接电流相匹配。随着电流的提高，电弧电压也应相应增大。



图 1-13 电弧电压对焊缝形状和熔深的影响 图 1-14 焊接电流对焊缝熔深及余高的影响

② 焊接电流与焊丝直径及其伸出长度焊接电流主要影响焊丝的熔化速度及熔深。在其他参数不变的条件下，随着焊接电流的提高，熔深和余高增大，如图 1-14 所示。但是电流过大，除了容易发生烧穿外，还使焊缝金属晶粒变粗，机械性能恶化，热裂倾向提高。如电流过小，电弧燃烧就不稳定，焊道成形不良并容易造成未熔合等缺陷。通常，在保证焊缝金属性能和质量的前提下，总是选用尽可能高的焊接电流，以获得最高的焊接效率。

对于普通低碳钢来说，焊接电流主要根据所要求的熔深来选择。在埋弧焊中，焊接电流与熔深的关系基本上是  $100:1.2$  的比例。随着板厚的增加，为保证焊透，焊接电流必须相应提高。但是对于开坡口焊缝的填充层，以及厚板深坡口的多层焊缝，每层的焊接电流可保持在相同的范围内。在焊接高强度钢和不锈钢时，焊接电流主要根据焊缝金属和热影响区的性能来选定。

焊接电流亦可按焊丝直径确定，表 1-5 是各种规格的焊丝及其适用的电流范围。从中可以看出，焊丝直径超过  $3\text{mm}$  时，适用的电流范围相当宽。因此，在一定的电流范围内可以选择几种直径的焊丝，从而增加了埋弧自动焊的工艺灵活性。

表 1-5 各种埋弧焊焊丝适用的焊接电流范围

| 焊丝直径/mm | 焊接电流范围/A | 焊丝直径/mm | 焊接电流范围/A |
|---------|----------|---------|----------|
| 1.6     | 150~400  | 4       | 400~1000 |
| 2       | 200~600  | 5       | 500~1100 |
| 2.5     | 250~700  | 5.5     | 600~1200 |
| 3       | 300~800  | 6       | 700~1400 |

焊丝直径主要取决于所使用的焊接设备和所焊工件的形状和尺寸。半自动埋弧焊只能采用直径  $2\text{mm}$  以下的焊丝，而埋弧自动焊机大多数采用较粗焊丝。但小直径厚壁管环缝的埋弧自动焊最好采用直径  $3\text{mm}$  以下的细丝，这样便于控制焊接熔池的凝固和熔渣的流失。采用细焊丝焊接时，由于在电弧中过渡的金属熔滴直径较小，使形成的焊缝表面波纹细密光滑、外形美观、脱渣容易。因此，在深而窄、难以清渣的坡口内应优先考虑采用细焊丝。大直径焊丝的优点是能够承受较高的电流，从而可获得较高的熔敷速度。在大型焊件的焊接

中，焊接效率是必须考虑的因素，因此大多数采用直径 4~5mm 的焊丝。

焊丝伸出长度段是焊接电流通过的部分。伸出长度增加，电阻增大，焊丝预热作用加强，熔化速度加快，焊缝余高加大而熔深变浅。在焊接电流不变的前提下，加长焊丝伸出长度可使焊丝的熔化速度提高 25%~50%。因此，在不要求熔深的情况下，可以利用加长焊丝伸出长度来提高焊接效率。推荐的适宜焊丝伸出长度： $\phi 2.5 \sim \phi 3.0\text{mm}$  的焊丝伸出长度为 30~50mm； $\phi 4.5 \sim \phi 6.0\text{mm}$  的焊丝伸出长度为 50~80mm。

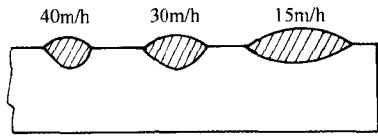


图 1-15 焊接速度对焊缝尺寸的影响

焊接速度对焊缝的熔深和宽度有一定的影响。增加焊接速度，则单位长度焊缝上的热输入量以及填充金属量减少。在其他参数不变的条件下，当焊速达一定值后，熔深、熔宽及余高均随焊速增加而减小。如图 1-15 所示。若焊速过快，则由于电弧对焊件加热不足，易造成未焊透或边缘未熔合等缺陷。当焊件熔深确定以后，为提高焊接速度，应相应提高焊接电流和焊接电压，才能形成外观良好的焊缝。

埋弧自动焊的典型焊接规范见表 1-6 和表 1-7

表 1-6 薄板对接缝单面焊双面成形埋弧自动焊规范

| 接缝间隙/mm | 焊丝直径/mm | 焊接电流/A  | 电弧电压/V | 焊接速度/(m/s) | 焊剂垫压力/kPa |
|---------|---------|---------|--------|------------|-----------|
| 5       | 4       | 500~550 | 28~30  | 40~46      | 80        |
| 6       | 4       | 600~650 | 28~30  | 38~40      | 80        |
| 7       | 4       | 650~700 | 30~32  | 36~38      | 80        |
| 8       | 4       | 700~750 | 32~34  | 34~36      | 80        |
| 10      | 4       | 750~800 | 34~36  | 32~34      | 80        |
| 12      | 4       | 800~850 | 36~38  | 30~32      | 80        |

表 1-7 V形和 X 形坡口对接接头埋弧焊规范

| 焊件厚度/mm | 坡口形式   | 焊丝直径/mm | 焊接电流/A  |         | 电弧电压/V | 焊接速度/(m/h) |
|---------|--------|---------|---------|---------|--------|------------|
|         |        |         | 第一层     | 其余各层    |        |            |
| 14~16   | 单面 V 形 | 4       | 600~650 | 700~750 | 34~36  | 22~25      |
|         |        | 5       | 650~700 | 750~800 | 36~38  | 25~30      |
| 18~22   | 单面 V 形 | 4       | 600~650 | 750~800 | 36~38  | 22~25      |
|         |        | 5       | 650~700 | 800~850 | 38~40  | 25~30      |
| 24~30   | X 形    | 4       | 600~650 | 750~800 | 36~38  | 22~25      |
|         |        | 5       | 650~700 | 800~850 | 38~40  | 25~30      |

(3) 焊接线能量与焊接规范

焊接线能量一般用  $Q$  来表示，它是指单位长度焊缝上所得到的电弧热能量。其值由下式计算：

$$q = \frac{36\eta UI}{V} \quad \text{J/cm}$$

式中， $U$  为电弧电压，V； $I$  为焊接电流，A； $V$  为焊接速度，m/h； $\eta$  为热效率系数，埋弧自动焊可取 0.85，手工电弧焊可取 0.075。

由上式可以看出，焊接规范的大小决定了焊接电弧所产生能量的大小。当焊速一定时，增加电流或电压均可使焊接线能量增加。而焊接线能量则决定着焊接区的加热速度，对焊缝截面的大小和形状起决定性作用，同时还影响焊接区在高温下停留的时间与焊后冷却速度。

因此，实际生产中，要根据钢材的化学成分、刚性等因素，在保证焊缝成形良好的前提下，适当调节焊接规范，用合适的线能量进行焊接，才能保证焊接接头具有良好的性能。焊接线能量过大或过小，都可能产生缺陷。

### 1.3.3 埋弧自动焊的焊接技术要点

埋弧自动焊的焊接技术，主要包括接头形式和坡口尺寸设计、坡口加工方法、装配质量的要求、焊接衬垫的使用、引弧和收弧、焊丝端的对中和电弧长度的控制等。正确掌握埋弧焊技术，能够在保证焊缝质量的前提下达到最高的焊接效率。

#### (1) 焊前准备

自动焊前应对焊丝、工件待焊表面进行严格清理，焊剂要烘干。对于埋弧自动焊，坡口加工的精度是十分重要的。如在一条接缝的长度方向钝边和坡口角度误差超过公差范围，则可能在焊接过程中产生烧穿和未焊透等缺陷。对坡口边缘在焊前应采用砂轮等工具清除氧化皮、锈斑和飞刺，坡口表面的气割凹槽应修磨成圆滑过渡。

接头的装配是否符合技术条件的要求对焊缝的内在质量和外形可能产生重要的影响。由于埋弧自动焊具有深熔的特点，故必须严格地控制装配质量，应保证接缝错边不大于 3mm 和间隙均匀。

对于锅炉和压力容器的焊接，为避免引弧与熄弧处的缺陷，一般常在焊缝的两端焊上引弧板与收弧板，如图 1-16 所示。即在引弧板上开始引弧焊接，而后进入工件，焊接到焊缝尽头以后，将电弧引到收弧板停止焊接，焊后将引弧板和收弧板切下。

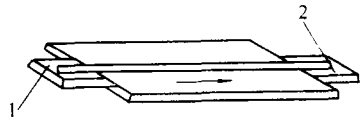


图 1-16 引弧板与收弧板示意图

1—引弧板；2—收弧板

#### (2) 焊接衬垫与手工封底焊

埋弧焊时熔池体积较大，保持液态的时间较长，因此不论是双面焊还是单面焊双面成形，在根部焊缝焊接时，均应加焊接衬垫支托焊接熔池。

在埋弧自动焊中，最常用的焊接衬垫有钢衬垫、手工封底焊缝、铜衬垫、焊剂衬垫和柔性衬垫等。前两种衬垫是永久衬垫，并成为整个接头的一部分。其他 3 种是临时衬垫，焊后可以拆除。钢衬垫也可根据设计要求在焊后加工掉。在对接接头中，也可采用加大钝边的方法支托第一层的焊缝。在使用钢衬垫时，焊缝熔透到衬垫，因此应使衬垫材料与焊件相同或相近。封底焊缝通常采用手工电弧焊和气体保护焊完成，它可以在坡口的正面或反面。由于封底焊缝是整个接头的一部分，故应具有与主焊缝相同的质量。如封底焊缝达不到规定的质量要求，则应采用电弧气刨、批铲和机械加工在埋弧焊焊缝完成后将其清除掉，然后再用埋弧焊进行重焊。

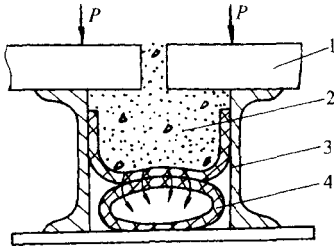


图 1-17 焊剂垫结构

1—焊件；2—焊剂；3—橡皮帆布；  
4—橡皮软管

在 20mm 以下薄板对接接头的埋弧自动焊中，经常采用铜衬垫支托焊接熔池。铜的热传导率很高，因此可以避免焊缝金属熔入铜衬垫。如焊缝的背面要求一定的余高，则铜衬垫可加工出一定形状的凹槽。此外，铜衬垫必须有足够的体积或通水冷却以防止焊缝表面的渗铜。在某些应用场合，铜衬垫可制成沿接缝滑动的方式。

焊剂垫是埋弧焊中应用较广的一种衬垫，其结构形式如图 1-17 所示。焊剂垫的外壳由薄板或角钢制成，内装充气橡皮软管，柔性焊剂槽和松散的焊剂。根据工艺要求，向橡皮

软管通 0.3~0.6MPa 的压缩空气,使焊剂垫与焊缝的背面贴紧。在第一层焊道焊接时,如规范选择恰当,可以完成单面焊双面成形的封底焊缝,由于紧贴焊缝背面的焊剂局部熔化而使反面焊道的表面比较光滑。

对于不便翻转的工件,或不便采用焊接衬垫时,可以采用手工焊封底焊好第一道焊缝后,其余各层再用埋弧自动焊焊成。

### (3) 焊丝的对中

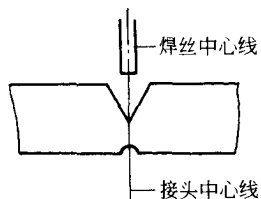


图 1-18 埋弧焊焊丝  
对中示意图

在埋弧自动焊中,焊丝相对于接缝和工件的位置也很重要。不正确的焊丝位置往往会引起焊缝成形不良,导致咬边、夹渣和未焊透等缺陷的形成。在薄板对接和厚板对接的根部焊缝焊接时,焊丝的中心线必须对接头的中心线,如图 1-18 所示。如焊丝偏离接头的中心线,则很可能产生未焊透。但当焊接不等厚的对接接头时,焊丝应适当地向较厚侧偏移。在 V 形坡口和 U 形坡口填充层焊接时,为保证焊缝与侧壁良好熔合又不致产生咬边,焊丝离侧壁的距离应大致等于焊丝的直径。

### (4) 环缝焊丝提前量

在圆筒环缝焊接时,焊丝的提前量对控制和调整焊缝的熔深与形状起着非常重要的作用,如图 1-19 所示。环缝焊接时,焊件在不断地转动,熔化的焊剂和金属熔池倾向于离开电弧而流动。因此应将焊丝逆焊件转动方向后移适当的距离,以使焊接熔池在焊件转到中心线位置时凝固,避免液态金属溢流和焊道外形的畸变。焊丝与筒体中心垂直线间的提前量  $a$ ,取决于筒体直径、焊接速度和焊接电流。 $a$  值一般取 25~50mm,焊件直径越大,取值越小。

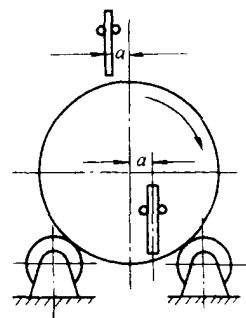


图 1-19 环缝焊丝提前量

### 1.3.4 埋弧焊中的裂纹

埋弧自动焊在焊接过程中也难免产生焊接缺陷,其缺陷类型与手工电弧焊类似。但由于结构或操作因素,有时易产生热裂纹和终端裂纹。下列情况较多见。

低合金钢 V 形坡口接头,在焊根部焊缝时,因稀释率高和对焊缝成形不利,易出现热裂纹。此种情况应选用规范下限值,适当提高电弧电压和焊缝形状系数。

② 14Cr2Ni4MoV 之类高镍低锰钢的厚板多层多道焊时,若盖面焊两侧熔深过大,则易在盖面层与前一层交界处出现微裂纹,且多集中于距表面 3~7mm 处,常称为热影响区的液化裂纹,如图 1-20 所示。它不易被射线或超声探伤发现,是接头中的隐患。此时应防止采用大的工艺参数或随意增大焊缝宽度。若盖面层有局部未焊满时,要用埋弧焊再堆焊一层或用手电弧焊小线能量进行补焊。

埋弧焊的弧坑是在无热源条件下最后凝固的,易形成柱状晶和偏析,产生热裂纹的可能性较大。圆筒纵缝可设引、收弧板,将弧坑引到熄弧板上。而环缝无法设熄弧板,主要由控制工艺参数防止。

长焊缝对接单面埋弧焊,由一端焊到终端,在终端熄弧板前易产生纵向裂纹,称为终端裂纹,如图 1-21 所示。其产生原因与熄弧板的约束有关,主要靠工艺措施进行防止。

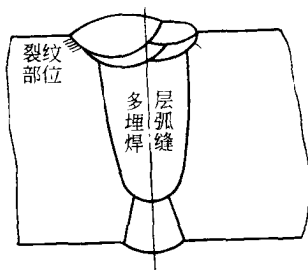


图 1-20 埋弧焊接头中的液化裂纹

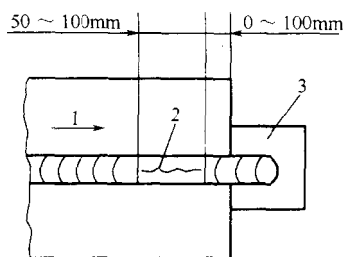


图 1-21 单面埋弧焊的终端裂纹

1—焊接方向；2—裂纹；3—收弧板

### 1.3.5 埋弧自动焊机

埋弧自动焊机远较手弧焊机复杂，通常包括自动焊小车、控制箱和焊接电源三部分。自动焊小车由机头、控制盘、焊丝盘、焊剂斗和台车组成；控制箱内装有电动机、发电机组、中间继电器、接触器、变压器、整流器和开关等。

埋弧焊用焊接电源与手弧焊电源相似，只是焊接电源的容量比手弧焊电源大得多。埋弧焊电源亦分为两大类：一种是直流电源；另一种是交流电源。直流电源有弧焊发电机和硅整流直流电源。弧焊发电机由于噪声大、结构复杂，维修困难等原因目前已逐步被焊接硅整流电源所取代。采用交流电源时，配用 BX2-1000 型弧焊变压器；采用直流电源时，配用 AX1-500 型直流弧焊机，单台式或两台并联使用。

锅炉和压力容器焊接中常用的自动焊机有：

MZ1-1000 型埋弧焊机该机为等速送丝式，焊接小车轻便，控制线路简单，适用于对接、搭接焊缝和筒体纵、环缝的焊接。若用  $\phi 1.6\text{mm}$  细焊丝，还可焊 2~3mm 的薄板结构。生产中常配用 BX2-1000 型同体式弧焊变压器，也可用一台或两台 AX1-500 型直流弧焊发电机或某种弧焊整流器。

② MZ-1000 型埋弧焊机该机控制系统较复杂，送丝速度可以无级均匀调节。配用电源与 MZ1 型基本相同。焊机型号中的 M 表示埋弧焊，Z 表示自动焊（若为 B，则为半自动焊）

### 1.3.6 窄间隙埋弧焊

窄间隙埋弧焊是应大型厚壁容器焊接的需要而发展的一种先进技术，焊接坡口截面积比传统的焊接坡口成倍地缩小，生产率高，焊丝、焊剂、电能消耗小，最大特点是焊接线能量小、热影响区窄以及焊接应力和变形都比较小，可提高焊接接头的韧性。但要求焊剂有非常好的脱渣性，一旦焊缝存在缺陷时返修很困难。要求操作人员有较高的素质与技能，要求焊机能保证稳定的焊接过程。国外目前比较典型的设备有意大利安莎多（ANSALDO）公司的多功能单丝窄间隙埋弧焊机和瑞典依萨（ESAB）公司的单丝窄间隙埋弧焊机，国内引进了许多台。哈尔滨焊接研究所研制了双丝窄间隙埋弧焊设备，用于厚壁容器的焊接。国外单丝窄间隙埋弧焊设备自动化程度高，功能全，有的还备有焊缝返修的大型磨头装置，构成所谓“焊接中心”装置。这种技术在不断发展。国内有些工厂和研究单位在原有埋弧焊设备的基础上，适当改进，也可满足窄间隙坡口焊的要求，但只限于 100mm 左右。只有专用窄间隙焊机才能顺利地焊到 300mm 以上。

窄间隙埋弧焊一般采用  $1^\circ \sim 3^\circ$  的斜坡口或 U 形坡口。在工艺上对焊剂的脱渣性能要求特别高，这是目前国内推广应用的困难之一。实际生产中可采用脱渣性能好的烧结焊剂。