

第一编 常用焊接方法及其一般工艺知识

第一章 埋弧自动焊

第一节 埋弧自动焊概述

埋弧自动焊又称焊剂层下自动焊，即焊接时电弧被颗粒状的焊剂所覆盖掩埋而不外露。当焊接电弧移动是自动完成时称埋弧自动焊，焊接电弧移动为人工操作完成时称埋弧半自动焊。

电弧将焊丝、焊件、焊剂熔化形成熔池，熔池受到同时被熔化的焊剂形成的熔渣和焊剂蒸气保护。随着电弧向前移动，熔池随之冷却凝固形成焊缝；熔渣也随之冷却凝固形成渣壳，因密度较小而覆盖在焊缝上。

埋弧自动焊过程如图 1.1-1 所示。调整、点动焊丝使之与焊件坡口对中并接触良好，打开焊剂斗铺撒适量焊剂，启动焊机电源，电流通过导电嘴传到焊丝，并与焊件产生电弧。焊丝经送丝轮均匀输送，保持电弧稳定燃烧。焊接小车匀速行走，电弧稳定地向前移动，注意保证各仪表数值稳定，焊剂铺撒通畅均匀，至终点停止，回收焊剂，敲开焊渣，便是已成形的焊缝。

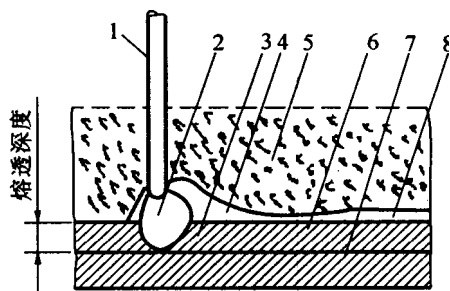


图 1.1-1 埋弧自动焊过程示意图

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

第二节 埋弧自动焊的主要特点与焊机分类

一、埋弧自动焊的主要特点

1. 生产效率高

焊接时，电弧将电能转换为热能而做功。当焊接电流和电流密度提高时，电弧的熔深和焊丝的熔敷效率都会大大地提高。埋弧自动焊的焊接电流是通过特制的具有良好导电性、耐磨性的导电嘴传导给作为金属电极的焊丝，而焊丝从导电嘴到焊件的长度远远小于焊条电弧焊时的焊条长度，所以能使用比焊条电弧焊时大得多的焊接电流和电流密度，从而增加了电弧的熔深，提高了焊接熔敷率。两种焊接方法的焊接电流值，电流密度值比较见表

1.1-1。

另外 由于在焊剂的覆盖下 埋弧焊的电弧空间被液态的渣膜包围 电弧辐射、气流和飞溅等造成的热量损失很小，虽然用于熔化焊剂的热量损耗有所增大，但总的效率仍然很高，在常用的几种电弧焊方法中 埋弧焊的热效应系数是最高的 见常用电弧焊热效应系数对照表 1.1-2。

表 1.1-1 焊条电弧焊与埋弧自动焊焊接电流、电流密度值比较

焊丝直径 /mm	焊条电弧焊		埋弧自动焊	
	焊接电流 /A	电流密度 /(A/mm ²)	焊接电流 /A	电流密度 /(A/mm ²)
2	50 ~ 65	16 ~ 21	200 ~ 400	64 ~ 127
3	80 ~ 130	11 ~ 18	350 ~ 600	50 ~ 85
4	125 ~ 200	10 ~ 16	500 ~ 800	40 ~ 64
5	190 ~ 250	10 ~ 13	700 ~ 1 000	36 ~ 51

表 1.1-2 常用电弧焊热效应系数对照表

弧焊方法	热效应系数
药皮焊条电弧焊	0.65 ~ 0.85
埋弧自动焊	0.8 ~ 0.9
CO ₂ 气体保护焊	0.75 ~ 0.9
熔化极氩弧焊(MIG)	0.70 ~ 0.80
钨极氩弧焊(TIG)	0.65 ~ 0.70

由于焊接电流密度增大 电弧的熔深显著增加、热效应大的特点 在实际生产中 对钢板厚度 16 mm 以下的对接焊缝不开坡口，采用双面埋弧自动焊已是很成熟的焊接工艺。

焊接速度快 以厚度 8 ~ 10 mm 钢板对接焊为例 单丝埋弧焊速度可达 30 ~ 50 m/h 而焊条电弧焊则不超过 6 ~ 8 m/h。

因为不开坡口可熔透 从而减少焊缝的填充金属 节约了焊接材料和电能 与焊条电弧焊相比还没有飞溅与焊条头的损失。

综上所述 可见埋弧自动焊是一种高效焊接方法 特别适用于厚钢板、长直焊缝的焊接。为提高生产率 还有双丝、三丝埋弧自动焊。

2. 焊接质量好

因埋弧焊电弧受到焊剂良好的保护 其隔离空气的效果远比焊条电弧焊好 焊缝金属的含氧量、含氮量大大降低。熔池存在时间长 液态金属与熔化的焊剂间有较长时间进行冶金反应 减少了焊缝中产生气孔、裂纹等缺陷的可能性。又因熔深大而不易产生未焊透、夹渣。焊缝表面成形光滑、平直、均匀。

焊接过程稳定 不受人为因素的影响 只要焊接参数和工艺正确 埋弧自动焊的质量易于得到保证。

3. 焊接变形小

埋弧自动焊热量集中 焊接速度快 焊件受热均匀 焊接层数少焊接变形小。

4. 改善劳动条件

焊接过程的自动化和大的焊接功率使焊工劳动强度降低, 另外, 埋弧焊有毒气体较少, 同时消除了弧光辐射的危害, 改善劳动条件。

由于埋弧自动焊的特点特别适用于中厚板金属结构的长焊缝的焊接 在造船、锅炉、压力容器、桥梁、车辆、核电站和海洋结构等制造部门中得到广泛的应用 是现在焊接生产中普遍使用的高效焊接方法之一。在某些有特殊要求 如阀门、轧辊、核电站、压力容器等构件, 采用特制的焊丝、焊带和焊剂进行埋弧焊堆焊具有耐磨、耐腐蚀要求的表面层 因焊接质量稳定 焊后变形小 故经常采用。用于焊接镍基合金、铜合金也比较理想。

与焊条电弧焊相比其局限性如下。

目前埋弧自动焊只适用于直线、正圆的平面位置 使用范围受到限制。国外虽有研究用特殊装置和焊剂实现横、立、仰位置的埋弧焊 但应用不普遍。

由于焊剂主要是 MnO 、 SiO_2 等金属和非金属氧化物 而难以用来焊接铝、钛等氧化性强的金属。

对焊件的预处理 装配质量要求高 辅助准备时间长 对现场条件有一定的要求 不如焊条电弧焊方便。

当焊接电流过小时, 焊接电弧不太稳定, 所以薄板焊接难度较大。

二、埋弧自动焊机的分类

虽然在生产中使用的埋弧自动焊机有很多品种, 但按其送丝方法或焊接电弧自动调节原理, 一般分为两大类:

焊丝等速输送式(电弧自调节式)典型机如国产 **MZ1-1000** 型埋弧自动焊机;

焊丝变速输送式(电弧电压反馈自动调节式)典型机如国产 **MZ-1000** 型埋弧自动焊机。

按用途可分为万能式埋弧自动焊机、专用埋弧自动焊机, 如角焊机、带极堆焊机。

按焊丝数目可分为单丝埋弧自动焊机、多丝埋弧自动焊机。

按机头行走方式可分为悬挂机头式、自动小车式。

另外, 还有自动送丝而行走为人工操作的半自动埋弧焊机。

第三节 埋弧自动焊规范参数

一、焊缝形状与尺寸, 焊缝成形系数及熔合比概述

图 1.1-2 为焊缝横截面的形状和尺寸示意图, 其中焊缝宽度 B 与焊缝计算厚度 H 之比称为成形系数 ψ 所谓焊缝成形系数 ψ 是指“熔焊时, 在单道焊缝横截面上焊缝宽度 B 与焊缝计算厚度 H 的比值 $\psi = B/H$ ”。

可以认为 焊缝即凝固了的熔池 熔池形状即焊缝形状 当 ψ 值过小时说明焊接电流过大 电弧深入基本金属之内 熔深显著增加则焊缝的宽度小而焊缝计算厚度增大 焊缝呈深

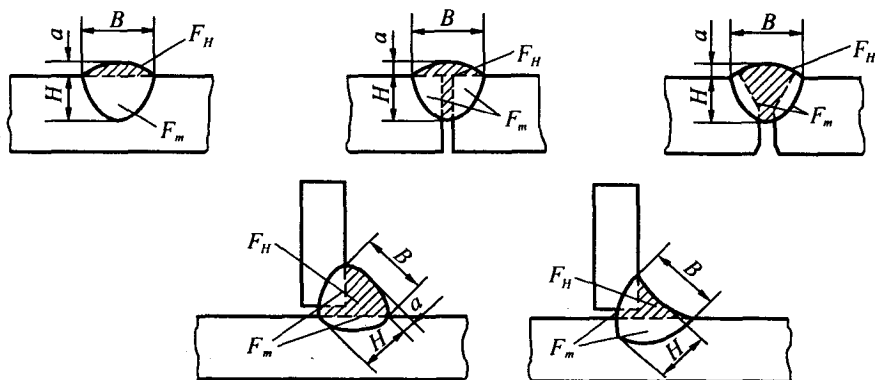


图 1.1-2 焊缝的形状和尺寸示意图

α —焊缝余高; B —焊缝宽度; H —焊缝计算厚度; F_m —母材金属在焊缝横截面中所占的面积;
 F_H —填充金属在焊缝横截面中所占的面积

而窄状。当 ψ 值过大时则说明焊接电弧作用于基本金属较浅，焊缝的熔深浅则焊缝计算厚度小而宽度大。 ψ 值的大小会影响到熔池中的气体逸出的难易、熔池的结晶方向、焊缝中心偏析严重程度等等 这些条件直接影响到焊缝产生气孔 影响裂纹的敏感性 致密性及焊缝的机械性能。当 ψ 值过小时，因冷却时熔池结晶方向的原因，低熔点夹杂物会富集在焊缝最后结晶的树枝晶会合处即焊缝的中心 形成局部偏析 容易造成焊缝的气孔、裂纹缺陷 同时形成焊缝余高过大，焊缝成形不良，不能与母材光滑过渡，造成应力集中。当 ψ 值过大时，则因电弧熔深不够而造成未焊透缺陷。埋弧自动焊对接焊缝成形系数 ψ 一般要求大于 1.3 而在堆焊时 为了保证堆焊层材料成分尽量小的变化和较高的生产率 则要求焊缝计算厚度小而宽度大，此时成形系数 ψ 可达到 10。

焊缝余高 α 可避免熔池金属凝固收缩时形成的缺陷，也可增大焊缝截面提高承受静载荷能力 但余高不能过大 应与母材表面光滑过渡 否则会引起应力集中或疲劳寿命的下降，所以焊缝成形在满足规定尺寸的同时还要保证焊缝的外表成形。一般对接接头埋弧自动焊缝的余高为 $\alpha = 0 \sim 3 \text{ mm}$ 。

焊缝横剖面中母材金属熔化截面积 F_m 与焊缝金属截面积 $F_m + F_H$ 之比称为熔合比 γ 即

$$\gamma = \frac{F_m}{F_m + F_H}$$

式中 F_m ——母材金属在焊缝横截面中所占面积；

F_H ——填充金属在焊缝横截面中所占面积。

从上式和图 1.1-2 可见 当接头的坡口、焊缝熔池改变时 熔合比将随之变化 而熔合比的变化会直接影响焊缝的化学成分、金相组织和机械性能 特别是在焊高合金钢或堆焊时 更敏感。通过改变熔合比来调整焊缝金属的化学成分，在焊接生产中具有重要的实用价值，为保证焊缝金属成分和性能的稳定性，必须正确选择并严格控制焊接规范参数。

必须严格区分焊缝计算厚度 H 与熔深之间的不同，GB/T3375-94《焊接术语》对熔深的定义是在焊接接头横截面上，母材或前道焊缝熔化的深度。从图 1.1-3 可以清楚地看出，

这是两个不同的概念 不能混淆。当堆焊或 I 形坡口对接焊时 熔深尺寸等同焊缝计算厚度 而角焊缝或 Y 形坡口焊缝则熔深仅为母材或前道焊缝熔化的深度 (多层多道焊同理) 不应将计算厚度与熔深等同。对于埋弧自动焊而言, 确定焊缝熔深尺寸至关重要, 它直接影响到焊缝是否熔透、致密 配合适当熔宽才能形成合格的焊缝 这一点明显有别于其他电弧焊方法。

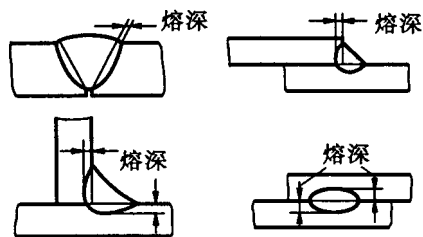


图 1.1-3 熔深示意图

二、焊接规范参数对焊缝形状的影响及其选择

通过调节焊接规范参数可调节焊缝的形状、成形系数和熔合比 埋弧自动焊的焊接参数主要有焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊丝直径、焊丝伸出长度等。

另外 焊件、焊丝的倾斜程度等也会对焊缝的形状等带来影响。

1. 焊接电流

焊接电流对焊缝成形的影响见图 1.1-4。当其他条件不变, 增加焊接电流, 焊缝熔深增加 焊缝余高增加 而焊缝宽度变化不大。因为首先焊接电流增大后 母材所受的电弧吹力和热输入量都增大 电弧能较深地潜入母材而使熔深显著增加。随着焊接电流增大 电弧弧柱直径增大 但因电弧深入母材的深度增大后电弧斑点移动范围受到限制 所以熔宽几乎不变。焊接电流的增大使焊丝熔化量以近似比例地增多而熔宽不变 所以焊缝余高增大 此时焊缝成形系数则由于熔深增大 熔宽不变而减小 熔合比则因母材熔化量增大而增大。所以 为获得适当的焊缝成形系数 在提高焊接电流的同时 必须相应地提高电弧电压 即提高电弧的长度。

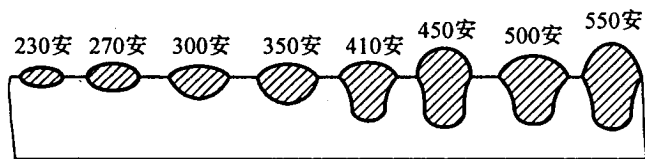


图 1.1-4 焊接电流对焊缝成形的影响

焊接电流继续增大 电弧吹力增大 焊缝熔深、焊缝余高都增加 焊缝宽度变化仍很小, 此时焊缝成形系数变小 焊缝成形恶化易促成热裂纹缺陷的产生 并不利于焊缝结晶直至影响焊接接头的机械性能, 所以低合金钢埋弧焊时焊接电流不宜过大。

当焊接电流小时 焊缝熔深和余高减小 焊缝宽度变化不大 焊接电流更小时 焊缝熔深则进一步减小 并因电弧吹力减小而容易造成未熔透、夹渣等焊缝缺陷。由于焊接电流过小 电弧燃烧不稳定, 焊接冶金不充分, 熔池凝固过快还会造成气孔缺陷。

随着焊接电流的增加焊缝熔深随之增加 焊接电流与焊缝熔深存在近似正比的关系 熔深 $= K_m I$ 。 K_m 为熔深系数 它与焊接电流种类、极性、焊丝直径、焊剂成分有关。表 1.1-3 为焊钢时不同直径焊丝的熔深系数。

表 1.1-3 不同直径焊丝的熔深系数

焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)	电流密度 /(A/mm ²)	熔深系数 K_m /(mm/100A)
2	200 ~ 700	32 ~ 40	15 ~ 100	63.6 ~ 222.9	1.0 ~ 1.7
5	450 ~ 1 200	34 ~ 44	30 ~ 60	22.9 ~ 61.1	0.7 ~ 1.3

2. 电弧电压

电弧电压是焊接时电弧长度的量化，其数值与电弧长度成正比。焊条电弧焊时电弧长度靠肉眼观察，被焊剂掩埋的埋弧焊电弧长度则通过电压表显示。电弧电压升高，即焊接电弧拉长，电弧作用于母材的面积增大，焊缝熔宽明显增加，而被熔化的焊丝填充量不变，所以焊缝余高相应减小。同时，因电弧拉长部分电弧热量被更多的焊剂吸收熔化，拉长的电弧对熔池底部液体金属作用减弱而使焊缝熔深略有减小。当焊接电流不变，电弧电压减小，即电弧压短，作用于母材的面积减小而填充金属量不变，所以焊缝熔宽减小，余高增大，熔深有所增加。电弧电压对焊缝熔宽的影响见表 1.1-5。

当焊接电流不变，电弧电压过小，即焊接电弧过短，致使焊缝成形尖窄，成形系数过小，多层焊时会造成夹渣缺陷。电弧电压过大，焊接电弧过长而飘忽不稳，易使空气侵入，焊缝成形不良，并会造成夹渣、气孔、未熔合等缺陷。角焊缝时易造成焊缝咬边缺陷。当使用大的焊接电流时，电弧电压对熔深的影响不敏感，而使用小电流焊接薄板时，电弧电压的影响则是一个很重要的因素。

注意电弧电压是根据焊接电流而确定的，即一定的焊接电流要保持一定范围的电弧长度，以保证电弧的稳定燃烧，所以电弧电压的调节范围是有限的，应综合焊接电流、焊接速度及焊件具体情况确定。需要强调的是，当电弧电压不稳定时，焊接电流肯定也不稳定，而究其原因可能是工艺参数、电焊机的电路、机械或焊接回路中任何一个环节的异常所致。

焊剂成分、焊接电源极性不同时，虽然电弧电压不变，但焊缝成形也将发生变化。

3. 焊接速度

根据线能量公式

$$q = \eta \cdot IU/V$$

当焊接速度提高时，线能量减小，焊缝熔宽和熔深都减小，余高也随之减小。因为单位长度焊缝上的焊丝金属的熔化量与焊接速度成反比，而熔宽则近似于与焊接速度成反比，所以焊接速度对焊缝成形的影响明显。焊缝的熔深、熔宽随焊接速度变化而变化，焊接速度快，焊缝熔深、熔宽小；焊接速度慢则焊缝熔深、熔宽大。

当焊接速度过慢，电弧下的液态金属不易后排，垂直向下的电弧吹力受到熔池液态金属的阻挡，焊缝熔深反而减小，并引起液态金属满溢造成夹渣、未熔合，严重时焊缝不能成形。当焊接速度适当时，电弧弧柱向后倾斜，有利于熔池内液态金属向后流动而保证熔深。随着焊接速度的增快，熔池存在时间缩短，焊缝凝固速度增快，有利于防止晶粒长大和减少焊缝热影响区高温停留时间。如在奥氏体不锈钢埋弧焊时，焊接速度一般较快。但焊接速度太快，则电弧作用时间过短，焊缝单位长度内得到的电弧热量太少，使焊缝的熔深、熔宽和余高都减小，并会造成未焊透、气孔、咬边等缺陷。

为提高生产率，根据埋弧自动焊的特点，希望尽量使用快的焊接速度，注意在提高焊接速度的同时要相应地提高焊接电流和电弧电压，才能满足焊缝的内部质量和规定的焊缝尺寸。焊接速度对焊缝成形的影响见图 1.1-5。

4. 焊丝直径

随着焊丝直径增大焊缝熔宽增加，这是因为电弧弧柱直径也增大，使电弧作用于母材热面积增加所致，而此时熔深则稍有下降。当焊接电流不变而改变焊丝直径时，焊缝形状发生较大的变化，因为电流密度变化的原因，焊丝直径减小，电流密度增大，电弧热量更集中，熔深便增加。从表 1.1-3 可看出，当达到同样熔深时，焊丝直径越细，则所需的焊接电流越小，相应的电流密度却显著提高，同时说明细焊丝的熔深系数大。

从电弧自身调节原理上讲，对于一定直径的焊丝，如果电流足够大即有足够大的电流密度时，就有足够的电弧自身调节灵敏度，而电流密度不够大时电弧自身调节灵敏度相应降低。在一定的工艺条件下，每一直径的焊丝都有一个能依靠自身调节作用，保证焊接电弧过程稳定的最小电流值。不同直径的焊丝各有其焊接电流使用范围值（表 1.1-4）但在焊接实践中以取其中间值为宜。

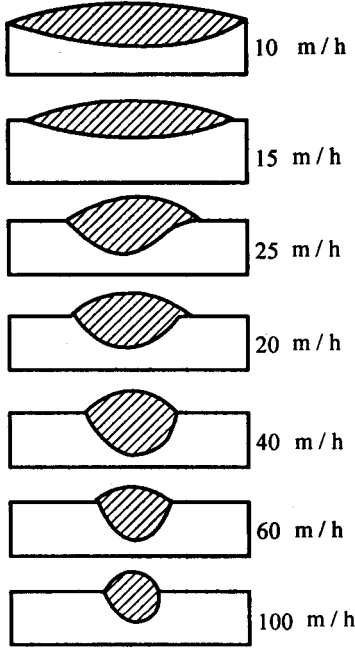


图 1.1-5 焊接速度对焊缝成形的影响

表 1.1-4 不同直径焊丝适用焊接电流范围

焊丝直径/mm	焊接电流范围/A
3	320 ~ 650
4	400 ~ 800
5	500 ~ 1 000

说明 焊丝牌号为 H08A, 10Mn2; 焊剂为 HJ431, HJ350。

5. 焊丝伸出长度

焊丝伸出长度是指焊丝从导电嘴伸出的长度，又叫干伸长。伸出长度部分的焊丝也就是焊接电源的导体，显然这个长度是受到限制的，视焊丝直径而定，一般为焊丝直径的 8 ~ 10 倍左右。焊丝伸出长度过短会形成“挂渣”影响焊缝成形或烧坏导电嘴，当焊丝伸出长度过长，焊接电流通过产生的电阻热使其熔化速度加快，此时焊丝的熔化量增多，余高增大，熔深略有减小，熔合比也减小，特别是小直径或电阻系数大的焊丝更加敏感。在生产中用直径 3 mm 以下或不锈钢焊丝焊接时，焊丝伸出长度变化范围必须严格控制。

在某些形状特殊的构件焊接时，可采用加长导电嘴的办法，以保证适当的焊丝干伸长。

6. 焊件、焊丝倾斜的影响

在大型构件焊接时 焊缝很难处在水平位置 便有向上方向或向下方向焊 习惯称为爬坡焊或溜坡焊。爬坡焊时 熔池液态金属后淌 导致电弧对熔池液态金属后排作用加强 焊缝熔深和余高增加而熔宽明显减小 即焊缝成形系数减小 会造成气孔、裂纹等缺陷 造成严重咬边 使焊缝成形恶化。溜坡焊时 向前 焊接方向 流动的熔池液态金属阻挡了电弧对母材的吹力 这样 焊缝熔深减小而熔宽增大 易造成未焊透、夹渣、未熔合等缺陷且焊缝成形不良。所以焊缝的倾斜角不能超过 $6^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 。

焊丝倾斜焊接时，对焊缝成形的影响与上述现象相似。有时在焊缝间隙较大或薄板焊接时 会采用焊丝前倾的方法以防止焊穿。焊件、焊丝倾斜的影响见图 1.1-6。

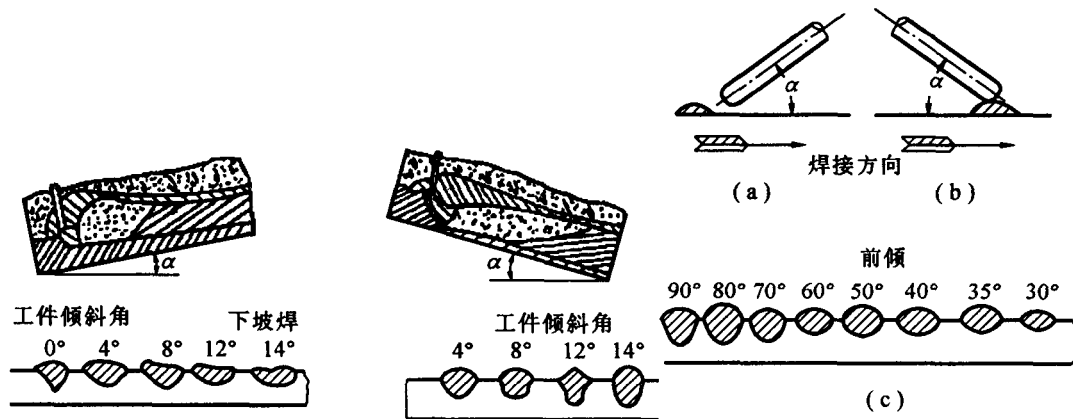


图 1.1-6 焊件、焊丝倾斜的影响

在实际生产中不可避免地会碰到一些非水平位置的焊缝，这时将根据焊缝所处位置的具体情况，用调整焊接规范参数并结合其他手段的方法来改善焊缝成形。

上坡焊时的调整：

- (1)为使焊缝熔宽不至于过窄 适度增大电弧电压 比水平位置的电弧电压增大 $1 \sim 3 \text{ V}$ ；
- (2)因上坡焊时的熔深自然增加，焊接电流可比水平位置时稍小；
- (3)将焊丝适当前倾以减少熔深，增加焊剂堆积高度。

下坡焊时的调整

- (1)为削弱熔池液态金属下淌 可适当减小电弧电压 $1 \sim 3 \text{ V}$ 。
- (2)焊丝适当后倾以增加液态金属后排能力，增加焊接速度。

注意 上述方法都只是一种补救措施 其效果是有限的。

7. 坡口与间隙

当其他条件不变时 坡口或间隙的尺寸越大 焊缝余高越小 此时的熔合比减小 从横截面上看相当于整个焊缝空间位置下降（图 1.1-7） 因此调整坡口角度可用来控制焊缝余高的大小 以改善焊缝成形和调整熔合比。当厚板用粗直径焊丝焊接时 适当的间隙可增加熔深，并对焊缝成形有利。

从 GB986-88《埋弧焊焊缝坡口的基本形式和尺寸》可看到 同样钢板厚度的对接焊缝坡口有开 I 形和 Y 形、U 形的选择。因为在 I 形坡口对接焊时，必须有足够大的焊接电流才能保证焊缝熔透 虽然焊接接头并不存在超标缺陷 但因线能量过大而对焊缝金属组织的结

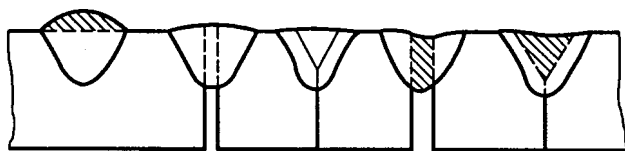


图 1.1-7 间隙和坡口对焊缝形状的影响

晶不利，并使热影响区晶粒粗大而降低了接头的塑性和韧性，所以在有一定综合性能要求的低合金钢焊接时会选择 Y 形或 X 形坡口多层焊的方法。采用多层焊法可以有效地提高焊缝金属的性能这是因为一方面每层焊缝焊接线能量、焊缝截面变小 高温停留时间变短 而改善了凝固结晶的条件；另一方面，更重要的原因是后一层对前一层焊缝具有附加热处理的作用，从而改善了焊缝固态相变的组织。

注意 I 形坡口的熔深与 Y 形和 U 形坡口的熔深不能相提并论，当采用相同的焊接规范参数施焊时，Y 形 U 形坡口的熔深远远小于 I 形坡口的熔深。

对于埋弧自动焊还要求坡口角度、间隙一致，不能有突变现象存在。

8. 电流种类和极性

用不同的电流种类和极性施焊所得到的焊缝形状和尺寸是不同的，如直流反接极（工件接负极）时，焊缝熔深和熔宽都要比直流正接极大而熔敷率小，这是因为工件负极析出的能量大而形成的（表 1.1-5）当直流正接极焊接时 焊丝为负极 则焊丝的熔化率较大而熔深较浅。直流反接极时的熔深比正接极时约大 40% ~ 50%，而用交流电源焊接时的熔深介于两者之间。

表 1.1-5 埋弧焊(焊剂 431)电源极性对熔宽的影响

电弧电压/V	焊缝宽度/mm	
	正极性	反极性
30 ~ 32	21 ~ 23	22 ~ 24
40 ~ 42	25 ~ 27	28 ~ 30
50 ~ 52	26 ~ 28	33 ~ 35

注 电流 500 A, 焊丝直径 $\phi 5$ mm, 焊接速度 24 m/h。

一般情况下 粗焊丝、大电流焊接时可选用交流电源 细焊丝、小电流、快速度焊接时宜选用直流电源。当薄板焊接时选用直流电源正接极可有效地防止焊穿；厚板焊接则应采用直流反接法或交流电源。

9. 焊剂的影响

焊剂对焊缝的形状、熔深都有影响 并影响到接头的使用性能。不同的焊剂具有不同的成分 会影响到电弧极区压降和弧柱电位梯度的大小。稳弧剂主要影响电弧的长度 稳弧性差的焊剂使焊缝的熔深较大；焊剂形成的熔渣粘度小则透气性好，焊缝表面成形光洁平滑；而熔渣粘度过大或熔化温度较高则透气性不良 在焊缝表面形成许多压痕而使成形较差 当焊剂密度小颗粒度大时 堆积比重较小 电弧周围的压力小而弧柱膨胀 电弧在焊剂中燃烧

的空间大 焊件受热面积也大 这样焊缝熔宽增加 熔深、余高会略减小。当厚钢板大功率焊接时 用浮石状焊剂可降低电弧压力 减小熔深 增大熔宽 改善焊缝成形。

常用的焊剂分熔炼型和烧结型两大类，它们的焊接工艺性能和对焊缝力学性能的影响各不相同。

三、焊接参数选择原则与方法

1. 焊接工艺参数选择原则

焊接参数的选择应根据产品的具体条件，以满足焊接接头的力学性能、焊缝的内在质量、外观成形及高生产率等要求综合考虑。首先保证电弧稳定燃烧 焊缝无缺陷 形状尺寸满足要求，表面成形光滑，在保证质量基础上求速度。

注意 埋弧焊容易出现‘单道焊的气孔 多道焊的夹渣’。

2. 焊接工艺参数选择方法

(1)焊接工艺评定指导书、工艺认可或有关工艺文件、资料提供的规范参数。

(2)根据生产中积累的经验数据拟定规范参数。

(3)比对焊件通过焊接试板的试验拟订规范参数。

必须指出 不论选择什么方法 都要根据焊件的实际焊接情况加以修正。

第四节 埋弧自动焊操作技术

一、焊前准备

良好而充分的焊前准备是埋弧自动焊质量保证的基本条件。由于埋弧自动焊的连续性和快速性，必须在施焊开始前对焊接相关问题做全面的准备。

1. 焊件的坡口尺寸、装配尺寸必须满足 GB986 - 88 《埋弧焊焊缝坡口的基本形式和尺寸》及相关的技术要求 并检查其清洁状况。对局部超差处 应在焊前处理完毕。

2. 焊缝两端必须装有牌号、厚度与焊件相同的一定尺寸的引弧板。

3. 对定位焊缝的检查 应无缺陷 并满足规定的尺寸、长度要求。

4. 焊机、辅助设备等必须处在良好的运行状态 焊接回路电缆连接牢固 仪表应定期检测。

5. 焊丝清洁 焊剂按规定严格焙烘使用。

6. 对无预设功能的焊机，应先在焊接试板调试好焊接规范参数再上产品施焊。

7. 按规定预热或去除坡口两侧水分。

二、埋弧焊接操作

1. 在引弧板上起弧、熄弧。对无预设功能的焊机 应在最短时间内将各规范参数调整到规定值施焊。

2. 密切监视焊接电流、电弧电压读数的变化 因为焊机的机械、电路及焊件的异常 都会通过焊接电流、电弧电压表变化表现出来。

当采用陡降的外特性电源时，电弧电压波动较大而焊接电流波动较小。

当采用缓降或平特性电源时，焊接电流波动较大而电弧电压波动较小。

3. 保证焊接过程和焊缝成形的连续性、一致性 从坡口、间隙、“马脚”的修正 到焊丝、焊剂的输送 都应做好充分的准备。

4. 不论用什么种类焊接小车，必须防止焊偏。

5. 在酸性焊条焊缝上(如 J422)进行埋弧焊时，会经常性地造成埋弧焊缝出现气孔缺陷。原因是酸性焊条合金含量少 脱氧能力差 并未严格焙烘或不焙烘 其焊缝气体(O, H, N)含量很高 抗气孔能力差。当采用熔深大、焊接速度快的埋弧焊覆盖时 会将该酸性焊条焊缝重熔 并进入埋弧焊缝而形成气孔。

预防措施为埋弧焊接头的点固焊、打底焊和埋弧焊过程中的补焊(如焊穿处)均应采用碱性焊条。

三、埋弧自动焊焊接技术

(一) 对接接头双面焊

所谓双面焊是指在接头的两面 侧 施焊的焊接法。首先要合理选择焊接规范参数 双面单道焊时，一般正面 第一面 焊道的熔深要达到焊件厚度的一半左右 而背面焊道的熔深应保证达到焊件厚度的 60% ~ 70%，即在焊缝的横截面上两边焊道底部应有一定的重叠量。因为在施焊过程中 焊接电弧很难保证总是对准焊缝中心 有时焊接规范参数也会因种种原因产生波动 所以用一定富裕量的熔深来保证焊缝的致密性 防止未焊透缺陷。实践证明，这种方法保证焊缝质量是方便而行之有效的。

注意 焊件的拼装、施焊时 钢板一定不能直接贴在大地上或钢平台表面上 可先用槽钢或 5 # 以上角铁间隔排列，然后再铺上焊件，以防止钢板吸潮而引起焊接缺陷。

(二) 对接接头单面焊

压力容器、船舶上的气瓶等某些只能单面焊而又要求全焊透的焊件 当焊件允许焊后永久性保留垫板时 多采用 GB986 - 88 《埋弧焊焊缝坡口的基本形式和尺寸》所推荐的单边 V、Y 形锁边坡口或 V、Y 形带垫板坡口形式的单面埋弧焊。

这种坡口形式焊件的焊接特点是：

1. 严格要求装配质量 垫板或锁边必须紧贴在钢板背面 彼此间的结合面要清洁 因为当锁边或垫板与钢板未贴紧 在焊接时易在其间隙处产生“内咬边”现象 经 X 光拍片后 会在相片相应位置出现线状缺陷的影像而不能通过检验；

2. 特别注意打底焊道的焊接规范参数和焊接电弧位置，既要考虑垫板、锁边与焊件熔合好 又要防止焊穿。

(三) 薄板的焊接

厚度为 3 ~ 4 mm 钢板对接焊难度较大 因为钢板薄而焊接规范参数调节范围小 当焊接电流大时容易焊穿 焊接电流小冷却速度快易出气孔甚至未焊透 很有可能出现焊穿和未焊透两种缺陷并存的现象，而且焊后变形大。焊接时应注意：

1. 接头应为 I 形坡口 坡口间隙应严格控制在 0 ~ 0.5 mm 之内；

2. 焊接电源可选用直流电源正接极法；

3. 选择小直径焊丝 小电流、低电压和较快焊接速度的焊接规范施焊 施焊过程中密切注意 及时调整 使焊接规范稳定；

4. 用较细颗粒的焊剂施焊 焊剂覆盖厚度较薄 约在 20 mm 左右；

5. 正面 第一面 焊时为防止焊穿 视条件适当将焊丝前倾施焊；

6. 施焊时 钢板不能有较大振动。

薄板双面埋弧自动焊规范见表 1.1-6。

表 1.1-6 薄板双面埋弧自动焊规范

钢板厚度 /mm	焊丝直径 /mm	焊接面	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)
3	1.6	正面	180	25 ~ 27	32
	1.6	反面	190 ~ 200	25 ~ 27	32
4	3	正面	290 ~ 300	25 ~ 27	36
	3	反面	350 ~ 360	25 ~ 27	36

(四) 厚板的焊接

厚板对接接头坡口形式的设计和焊接规范参数的选用 并不仅仅决定于钢板的厚度 而是根据焊件的具体情况 如接头的技术要求、焊件的几何形状尺寸、设备和施工条件 来确定。焊接时主要注意以下几方面。

1. 对于允许使用大线能量的焊接接头，应优先考虑用 I 形坡口 板厚 $\leq 16\text{ mm}$ 双面单道焊 按前述原则选择焊接规范参数 背面封底焊采用大线能量保证熔透 不清根或稍稍刨槽，以改善封底焊缝成形即可。

2. 对 Y 形坡口接头 打底焊道的焊接规范参数选择趋向 焊接电流较大而电压适中 以保证其熔深 并要求焊缝成形光滑 不能中间凸两边凹 盖面焊道的焊接规范参数选择趋向，焊接电流稍减而电压稍增 以改善焊缝结晶状况 并使表面成形光滑过渡 封底焊道焊接规范参数的选择 在条件允许时 可稍稍刨槽后大线能量施焊 以保证熔深和焊缝成形。当需完全清根且刨槽较深时，则应采用多层多道焊法进行封底焊。

3. X 形坡口大厚板对接一般都采用多层多道焊法，注意每道焊缝成形光滑，既便于清渣 又利于下道焊的进行 避免焊缝出现中间凸两边凹甚至尖角状 要求焊道布置合理 并严格清理焊渣，以防夹渣缺陷的产生。实践中，大焊道产生夹渣的可能性高于小焊道。

为减少焊件的变形，应尽可能采用双面交替施焊法。

4. 对有一定机械性能要求的低合金钢接头，可采用开 Y 形或 X 形坡口多层多道焊法，因为每层焊缝截面相应变小 既改善了凝固结晶的条件 同时后一层对前一层焊缝相当于起了热处理的作用 从而改善了焊缝固态相变的组织 提高了接头的机械性能。这种方法是可取的，既保持了较高的效率，又满足了焊接接头的综合性能。

5. 当板厚度特小时 (60 ~ 250 mm) 应采用 U 形坡口窄的间隙埋弧焊，这是埋弧焊的一种特殊工艺，配有专用的焊机和脱渣性能好的焊剂。具有生产效率高、节约焊接材料和电能、热影响区窄、焊接应力和焊后变形小等特点，一般采用小线能量、多层多道焊 焊接过程中要注意电弧角度与指向 防止夹渣、未熔合缺陷。

6. 因焊件结构或工艺等原因 会采用焊条电弧焊、气体保护焊打底、埋弧焊填充盖面多种焊接组合法。这时应注意首道埋弧焊的焊接规范参数，以防焊穿。

厚板双面埋弧焊规范参数见表 1.1-7。

表 1.1-7 双面埋弧焊接规范参数

板厚 /mm	坡口形式	焊丝直径 /mm	焊道号		焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)
6	I 形 坡 口	4	正面		380 ~ 420	30	35
8			反面		430 ~ 470	30	33
			正面		440 ~ 480	30	30
10			反面		480 ~ 520	31	30
			正面		530 ~ 570	31	28
12			反面		590 ~ 640	33	28
			正面		620 ~ 660	35	25
14			反面		680 ~ 720	35	24
			正面		680 ~ 720	37	24
			反面		730 ~ 770	40	23
	正面		600 ~ 640	36 ~ 38	36		
14	Y 形 坡 口	5	反面		820 ~ 860	38 ~ 40	35
16			正面		740 ~ 780	38 ~ 40	28
			反面		820 ~ 860	38 ~ 40	26
18			正面		780 ~ 820	38 ~ 40	28
			反面		930 ~ 970	38 ~ 40	26
20			正面		820 ~ 860	38 ~ 40	25
			反面		930 ~ 970	38 ~ 40	23
22			正面		840 ~ 880	38 ~ 40	23
			反面		930 ~ 970	38 ~ 40	21
24			Y 形 坡	5	正 面	1	680 ~ 720
	2	630 ~ 670				40	21
	反 面	3			830 ~ 870	37	24
		4			680 ~ 720	40	24
40	X 形 坡 口			1	780 ~ 820	37	20
				2	780 ~ 820	37	24
				3	680 ~ 720	38	23
				4	680 ~ 720	38	45
				1	780 ~ 820	37	20
				2	780 ~ 820	37	20
				3	780 ~ 820	35	24
				4	780 ~ 820	35	24
				5	730 ~ 770	32	30

(五) 环形接头的焊接

在锅炉、压力容器、管道及船舶生产中, 会经常遇到柱形、锥形筒体焊接件。这些筒体多为钢板卷制焊接而成, 其纵缝焊接条件与平对接焊缝基本相同, 但筒体之间的环形焊缝则有较大的区别, 技术难度也大。环形接头自动焊主要特点如下。

1. 性能良好的辅助设备(如滚动胎架、悬臂或焊接平台)是焊好环形焊缝的基本条件。对滚动胎架的技术要求可以理解为就是对自动焊小车行走的技术要求, 从启动到设计速度的时间尽量短, 转速均匀、无级可调。

为限制筒体转动时产生的水平位移, 还应有限位装置。悬臂或焊接平台应平稳可调。

2. 环形自动焊接的关键是保证焊接熔池金属在凝固期间总是处在水平或接近于水平位置。因为筒体为环形(特大直径除外), 所以熔池总是处在曲面上。为减小曲面对熔池液态金属凝固的不利影响, 焊接电弧必须与筒体转动逆方向有一定的提前偏置量, 才能使熔池在凝固期间处在水平或接近于水平位置, 以获得较好的焊缝质量与成形。见图 1.1-8。这个提前偏置量的大小与焊接规范、冷却条件、筒体直径有关。有资料推荐, 当筒体直径在 400~3500 mm 时, 提前量取 80~30 mm 之间。由于具体条件的差异, 最终要根据焊缝成形作适当修正确定。

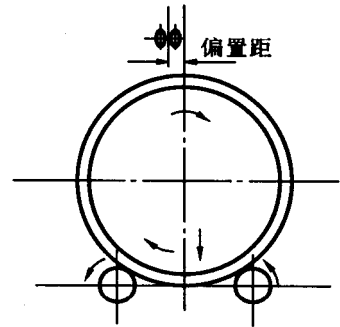


图 1.1-8 环焊电弧提前偏置示意

3. 与平对接焊不同的还有: 虽然钢板厚度较大, 但筒体的直径较小时, 焊接线能量、焊丝直径不能用大的。因为当焊丝直径增大, 为保持焊接电弧稳定燃烧, 焊接电流就相应提高, 熔化金属增多, 熔池体积增大, 凝固时间延长, 而筒体直径越小, 曲率越大, 接近水平位置长度相应越短, 熔池液态金属处在此位置还未凝固便因转动偏移造成流溢, 这时便与上坡焊或下坡焊一样, 容易造成焊接缺陷, 严重时甚至不能成形。筒体的小直径大曲率使电弧功率受到限制。

对钢板厚度大而筒体直径小的环形自动焊缝, 只能采用小直径焊丝、小焊接规范、多层多道焊法, 才能保证焊缝的内在质量和满意的焊缝成形。

4. 当一筒体是锥形且有多条环缝时, 每条焊缝的转速是不一样的, 这是线速度与角速度不同的原因, 所以每条焊缝都要重新调整、测量转速。

(六) 埋弧自动角焊

钢结构焊接件有很多种形式的角接头, 如 T 形接头、搭接接头、十字接头等, 其坡口形式有开坡口和不开坡口的区别, 也有焊透和填角焊的区别。

自动角接焊一般采用船形焊和平角焊两种形式。

1. 船形焊

所谓船形焊是指将 T 形、十字形和角接头处于平焊位置进行的焊接, 见图 1.1-9。虽然是角接焊缝, 可仍然如平焊一样可使用较大的焊接线能量, 以保证熔深和焊缝表面成形及尺寸要求。焊接效率大于平角焊法, 对一些要求焊透的角接头不开坡口也可用船形焊法将其焊透, 且满足焊缝尺寸和表面成形要求。焊前将焊件如图 1.1-9 放置, 焊接中为使焊缝边缘光顺整齐, 应将电弧电压比平焊时提高 2~3 V, 但不宜过高, 以防产生焊缝咬边。多层多道焊时注意焊道布置, 应总是先焊相对低的区域。埋弧焊船形角焊规范参数见表 1.1-8。

有时因焊件的技术要求不同 也可将焊件不同角度地放置焊接 即所谓不对称船形焊。

船形焊法对焊件装配质量要求较高, 当坡口间隙超过 1.5 mm 后易产生液态金属流失、焊穿或熔池下陷 焊缝不能成形等现象 可从坡口背面用衬垫将间隙填实 避免铁水下淌 以保证焊接过程的完成。

表 1.1-8 埋弧焊船形角焊规范参数

焊接位置	焊角 /mm	焊丝直径 /mm	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /(m/h)
船 形	8	3	500 ~ 550	30 ~ 32	28
	8	4	550 ~ 600	31 ~ 32	28
	10	4	675 ~ 725	32 ~ 34	25
	10	5	750 ~ 800	34 ~ 36	20
	12	4	750 ~ 800	36 ~ 38	18
	12	5	775 ~ 825	36 ~ 38	18
	14	第一层	5	650 ~ 700	32 ~ 34
		第二层	5	675 ~ 725	33 ~ 35

2. 平角焊

更多的结构是采用焊件平置而焊丝电弧倾斜的平角焊法, 并有专门应用于平角焊的埋弧自动角焊机。焊接中一般多采用小直径焊丝 (3 mm 以下), 焊接质量的关键在于焊丝的对中及焊丝与焊缝的倾斜角度, 即焊接电弧的方向, 电弧偏于腹板 (直立板) 会产生焊缝咬边 电弧偏于翼板 (水平板) 则会产生焊缝单边甚至未熔入现象。单道焊时焊丝夹角应在 45° 上下 并保证焊接电弧的指向。

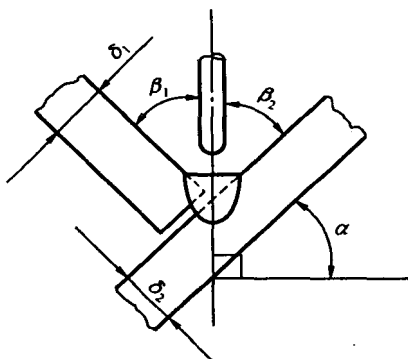


图 1.1-9 船形焊示意图

因液态金属流动的原因, 焊接线能量较小, 单道焊的焊角 尺寸只能达到 8 mm 左右。若要求更大的焊角则应采用多道焊, 此时要注意确定好每道焊的位置及电弧指向 选择正确的焊接规范 以使每道焊缝有合适的截面 然后由外向里一层层堆码上去, 直到获得所要求的焊角尺寸。用小直径焊丝可焊出大焊角尺寸要求的焊缝, 并且焊缝成形美观。

平角焊法对焊件装配质量要求不高。当坡口间隙 2 ~ 3 mm 时 无需衬垫即可完成焊接全过程。

(七) 临时工艺衬垫法

为保证焊接的连续性 提高效率 防止焊穿 正面施焊前在坡口背面采取临时工艺措施。一般多在焊件坡口间隙要求不能保证时使用 其要点是防止熔池液态金属下淌 保证焊接过程正常进行。

石棉垫是众多衬垫中的一种。首先, 在接头处预留一定的间隙 (3 ~ 4 mm) 用石棉绳紧嵌在间隙背面处 从正面用细粒焊剂将间隙填满 然后开始从正面施焊 正面焊完后焊件翻

面去除衬垫即可进行背面的封底焊。这种方法简单方便，适用于焊件下有一定空间的胎架上的拼板对接、滚动胎架上的筒体焊接等。要点是衬垫紧贴不能松动或有间隙，选用适当的焊接规范，既要防止焊穿，又要使正面焊缝有相应的熔深。

焊剂衬垫法是经常使用的方法之一。在槽钢和帆布等软、硬块状物上铺撒焊剂，利用焊件自重或外力，使焊剂与焊件坡口背面紧贴以防止焊穿。此方法简单方便，但要注意因车间环境、空气湿度的影响，需经常更换焊剂。

另外，在实际生产中，不论怎样的坡口形式，总有可能存在坡口、间隙局部超差的现象，用正常焊接规范施焊便会焊穿，因此可先在超差部位背面处用焊条薄薄焊一道，以托住焊接时熔池液态金属下淌，背面清根时再刨去或用砂轮磨掉。这种方法比在坡口正面堆焊好，省时省力省材料，并有利于焊接质量。在有可能的情况下应首先选择这种补救方法。

（八）单面焊双面成形工艺

根据埋弧自动焊焊接电流大的特点，将焊件熔透，焊接熔池在坡口背面的衬垫内凝固而使焊缝一次成形。这种焊接工艺明显地提高生产率，改善劳动条件，如不需焊件翻身，不需焊缝背面清根，则可节约工时、材料和能源，其生产效率比传统的双面焊法提高 2~4 倍，是高效焊接技术之一，正在得到广泛的应用和不断改进。由于埋弧焊熔池的体积、质量较大，焊缝背面只有采用强制成形的衬垫，使熔池从形成到凝固全过程都在衬垫内受到良好的保护，才能达到正反面焊缝一次成形。可以说衬垫保护效果的好坏是单面焊双面成形埋弧焊工艺的关键。国内外都积极研究采用多种衬垫及辅助方法，并不断完善这一工艺。

埋弧自动焊单面焊双面成形工艺一般用于大型拼板对接焊，在固定工位上多采用龙门压力架、电磁平台对焊件进行定位。龙门压力架横梁装有压紧装置，通过压缩空气将焊件压紧在平台上，电磁平台则是以电磁作动力将焊件紧紧吸在平台上，其目的是将焊件压平并与衬垫贴紧，不使其有空隙、松动，以保证焊缝与衬垫对中。衬垫则有焊剂衬垫、铜衬垫、焊剂铜衬垫等。

1. 焊剂衬垫法

以充满压缩空气的气带为动力，使焊剂与接头坡口背面紧贴，当电弧将焊件熔透时，焊剂衬垫表面的焊剂随之熔化，并形成液态薄膜保护熔池凝固成形，此时焊剂同时起到了保护焊缝背面成形和顶托的作用。

焊剂衬垫的顶托力必须适当，顶托力小焊缝下塌，顶托力过大焊缝背面上凹甚至穿孔。另外，作为衬垫的焊剂颗粒度要细一些。

2. 铜衬垫法

以表面开有成形槽的紫铜块制衬垫紧贴在焊缝坡口背面，利用紫铜良好的导热性，紫铜块一般通水冷却，将熔池强迫快速冷却成形。由于铜衬垫钢性较强，表面成形槽有类似模型作用，使背面焊缝成形均匀，但由于铜衬垫与焊件间是钢性对钢性的硬配合，当焊接过程中焊件产生焊接变形后，两者之间很难保证紧贴，从而影响焊缝成形。

上述两种方法因其质量不稳定，目前应用不多。

3. 焊剂铜衬垫法（FCB 法）

如图 1.1-10 所示，在铜衬垫上均匀铺上细颗粒的焊剂，然后与焊件对中并顶升紧贴，可用压缩空气软管或液压作为顶升装置，焊剂高出铜衬垫 2~4 mm，填实了铜衬垫焊件间压紧时可能出现的间隙，从而加强了压紧效果。

焊接时，与钢板和熔池直接接触的是焊剂，焊剂在铜垫的作用下对熔池的保护和顶托作

用同时加强，更好地控制背面焊缝尺寸特别是余高的大小，并不易产生毛刺、咬边等缺陷。另外，焊剂下的铜衬垫既不同熔融金属直接接触，又不受焊接电弧作用，所承受的温度不高不必通水冷却。焊缝背面成形比前两种衬垫好，并且质量稳定。同时，对焊接参数的敏感程度降低能使用较大焊接电流，对于接头坡口装配精度及焊接条件变化的允许范围也较宽，适用于大生产，所以焊剂铜衬垫得到更多的应用。

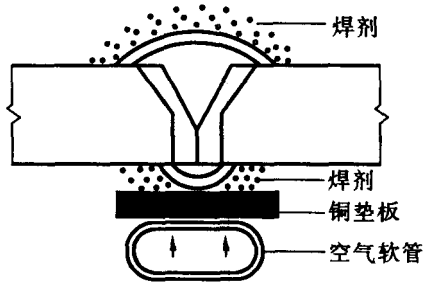


图 1.1-10 焊剂铜衬垫法 (FCB 法)

还有专门作为衬垫用的焊剂称为热固化焊剂，就是在焊剂中加入一定比例的具有热固化特性的物质，如酚醛或苯酚树脂及铁粉、硅铁、脱氧剂等。当焊剂被加热到 80 ~ 100 ℃ 时，树脂软化将周围的焊剂粘结在一起，当温度升到 100 ~ 150 ℃ 时，树脂固化并使焊剂垫变成具有一定刚性的板条状，即加强了顶托作用，而且它的成渣量少能有效地阻止液态金属溜溢，使焊缝成形更加稳定。需要注意的是，热固化焊剂在使用过程中与普通焊剂不同，在焊接时会全部固化而不能回收重新使用。另外，因为其含有热固化粘接剂，所以使用前不能焙烘，开罐后应立即使用，用多少取多少，然后立即将储罐密封保存。由于该焊剂不能用焙烘去除水分，一旦焊剂受潮变色只能报废。

目前，在单面焊双面成形工艺中已较多使用专门的衬垫，即用热固化焊剂取代熔炼型、烧结型焊剂，有的同时还佐以铁粉填充使焊接质量更稳定。作为填充用的铁粉基本为纯铁粉，其中含有一定数量的脱氧剂。焊前把铁粉均匀地填充在接头坡口内，一般要求将接头间隙填实，填充至一定高度或与钢板平齐即可。填充铁粉的目的是：

- (1) 弥补接头坡口、间隙的不均匀度，以便在同一焊接规范下获得较整齐的背面焊缝成形；
- (2) 防止电弧在坡口底部接近衬垫处发生而焊穿，保证电弧稳定；
- (3) 防止熔化金属前淌而造成焊接缺陷；
- (4) 增加熔敷率，提高焊接效率。

注意铁粉要均匀填实不能撒到坡口两侧，因铁粉混入焊剂后可造成工艺性能恶化。严格对铁粉的管理使用，因为铁粉实际上作为填充金属进入焊缝，所以一定不能受污染。另外，铁粉不能焙烘，一旦潮湿只能废弃。

焊剂铜衬垫焊接参数见推荐表 1.1-9。

表 1.1-9 焊剂铜衬垫焊接参数推荐表

板厚/mm	电弧电压/V	焊接电流/A	焊接速度/(m/h)	剖口间隙/mm
6	34 ~ 36	600 ~ 650	32	1 ~ 1.5
8	36 ~ 38	650 ~ 700	32	1.5 ~ 2.5
10	39 ~ 41	700 ~ 750	28	2.5 ~ 3.5
12	42 ~ 44	750 ~ 800	24	3.4 ~ 4.0

说明 H08A ϕ 4 mm 焊丝，HJ431 焊剂。