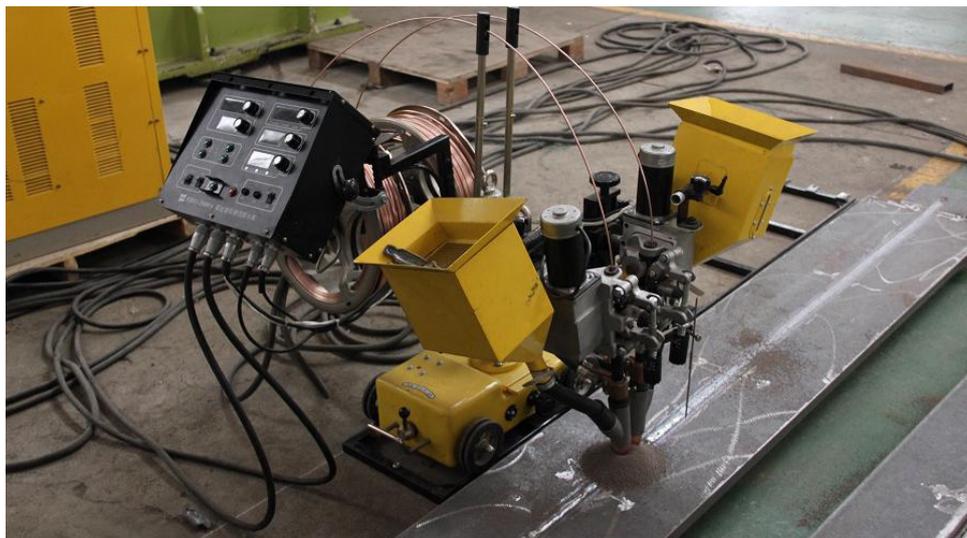


## 常用金属材料的埋弧焊接——碳钢



碳钢是碳素钢的简称，是以铁为基本成分，以碳 $\omega_c \leq 1.3\%$ 作为主要合金元素的铁碳合金。碳钢中除铁、碳外，还含有少量的有益元素锰和硅，锰的质量分数一般小于1%，个别钢中达到1.2%，硅的质量分数都在0.5%以下。此外，碳素钢中还含有少量的杂质元素硫和磷等，由于钢种质量要求不同，对硫、磷的限制有所不同。对于某些重要碳素钢，还需限制铬、镍、铜、氮等元素的含量。

碳钢根据钢中含碳量的不同划分为低碳钢、中碳钢和高碳钢，其中，碳的质量分数 $\omega_c \leq 0.25$ 的碳钢称为低碳钢，碳的质量分数 $\omega_c = 0.25 \sim 0.6\%$ 的碳钢称为中碳钢，碳的质量分数 $\omega_c > 0.6\%$ 的称为高碳钢。

由于中碳钢多用于制造机器零件，并非大型焊接结构，采用焊条电弧焊方法应用得较多，同样，高碳钢的淬硬倾向和裂纹敏感性都很大，这类钢主要用于制造需要高硬度或耐磨的部件或零件，其焊接工作主要是采用焊条电弧焊进行焊补修复，因此，就碳钢而言，埋弧焊主要应用于低碳钢的焊接，但中碳钢的焊接也有应用。

### 一、焊接特点

碳钢的焊接性主要取决于碳的含量，随着含碳量的增加，焊接逐渐变差。碳钢中的锰和硅对焊接性也有影响，其含量增加，焊接性变差，但不如碳的作用强烈。通常把锰、硅的影响折算为相当多少碳量的作用，这样就可以把碳、锰和硅对焊接性的影响用碳钢的碳当量(CE)经验公式来表示，即 $CE = \omega_c \div 1/6w_{Mn} + 1/24w_{Si}$  (CE值增加，则产生冷裂纹的可能性增加，焊接形变差。通常，CE值大于0.4%时，冷裂纹的敏感性增大)。

#### 1. 低碳钢

低碳钢的含碳量低，锰、硅的含量也少，它的碳当量值远远小于0.4%，因此，低碳钢在通常情况下不会因焊接而引起严重的硬化组织或裂纹。低碳钢的塑性和韧性优良，焊成的接头也能获得满意的塑性和韧性。焊接时一般不需采用特殊的工艺措施，就能够获得优质的

焊接接头，因此其焊接性优良。

## 2. 中碳钢

中碳钢包括 30, 35, 45, 50, 55 等碳素结构钢和 ZG230~450, ZG270~500, ZG310~570, ZG340~640 等铸造碳钢，由于中碳钢的含碳量比低碳钢高，其焊接性比低碳钢差。当碳的质量分数接近 0.3%，而含锰量不高时，焊接性尚好，但随着含碳量的增加，焊接性逐渐变差。当碳的质量分数达到 0.5%左右时，焊接性明显变差，容易产生冷裂纹、热裂纹和一氧化碳气孔等缺陷，这时，一般不采用埋弧焊进行生产。

## 二、焊接工艺

通常，在焊接一般低碳钢结构时，焊丝可选 H08, H08A，配合 HJ430, HJ431；焊接重要低碳钢结构时，焊丝选 H08MnA，配合 HJ431。详见表 1。

| 钢号   | 烧结焊剂与配用焊丝                      |      | 熔炼焊剂与配用焊丝 |              |
|------|--------------------------------|------|-----------|--------------|
|      | 烧结焊剂                           | 配用焊丝 | 熔炼焊剂      | 配用焊丝         |
| Q235 | SJ401, SJ403<br>SJ402 (薄板、中厚板) | H08A | HJ431     | H08A, H08MnA |
| Q255 |                                | H08E | HJ430     |              |
| Q275 |                                |      |           |              |

| 钢号       | 烧结焊剂与配用焊丝    |        | 熔炼焊剂与配用焊丝 |                 |
|----------|--------------|--------|-----------|-----------------|
|          | 烧结焊剂         | 配用焊丝   | 熔炼焊剂      | 配用焊丝            |
| 15, 20   | SJ301        | H08A   | HJ431     | H08A, H08MnA    |
| 25, 30   |              |        |           | H08MnA, H10Mn2  |
| 20g, 22g | SJ502        | H08E   | HJ430     | H08MnA          |
|          | SJ501        | H08MnA | HJ330     | H08MnSi, H10Mn2 |
| 20R      | SJ503 (中厚度板) |        |           | H08MnA          |

表 1: 低碳钢埋弧焊焊接材料的选用钢号

埋弧焊采用比手工电弧焊大得多的焊接规范参数，生产效率较高，熔深也大。对于厚度较大的焊件，可以采用多道焊来完成。多道焊时，由于第一层焊缝里基本金属熔化比例(熔合比)较大，焊缝中含碳量略有升高，再加上第一层的焊缝易形成不利的横截面形状(所谓 O 形截面)，所以在第一层焊缝中容易产生热裂纹。在环缝自动焊时，为防止金属熔池中的液态金属外流及保证焊剂的良好保护作用，焊接位置应从最高处朝旋转的相反方向偏移一段距离，使熔池保持在焊件的上表面。

如前所述，中碳钢焊接一般采用焊条电弧焊的方法，当 35 钢、ZG270~500 钢、45 钢和 ZG310~570 采用埋弧焊时，要注意以下几点：

1) 35 钢，ZG270~500 钢采用埋弧焊时，焊丝可选用 H08MnA, H10Mn2，配合焊剂 HJ430, HJ431 使用，而 45 钢、ZG 310~570 采用埋弧焊时，焊剂一般选用 HJ350 或 SJ101，焊丝选

用 H08MnMoA。

2) 35 钢、ZG270~500 钢埋弧焊时，焊件的预热温度和层间温度为  $150^{\circ}$  左右，当焊件刚性比较大时，预热温度和层间温度应提高到  $200\sim 250^{\circ}$ 。局部预热的加热范围为坡口两侧  $150\sim 200\text{mm}$ 。而 45 钢、ZG310~570 埋弧焊时预热温度为  $200^{\circ}\text{C}$  以上。最好整体预热，层间温度不得低于预热温度。

3) 焊接时要选用较小的焊接电流，以降低焊缝的熔合比，减少母材中的碳向焊缝中过渡的数量。

4) 35 钢、ZG270~500 钢埋弧焊时，对于厚度大，或者刚性大，或者工作条件恶劣的焊件，焊后宜立即进行消除应力回火处理，回火温度一般为  $600\sim 650^{\circ}\text{C}$ 。对于一般厚度的焊件可采用后热，以使扩散氢逸出，后热温度一般为  $200\sim 350^{\circ}\text{C}$ ，保温时间  $2\sim 6\text{h}$ 。而 45 钢、ZG310~570 埋弧焊时，焊件焊后应立即进行消除应力回火处理，回火温度为  $600\sim 650^{\circ}\text{C}$ 。

### 三、操作实例

#### 1. 蒸汽锅炉锅筒 20g 的埋弧焊

蒸汽锅炉上锅筒采用 20g 钢制造，壁厚 30mm，其工作压力为 2.5 MPa，采用直流埋弧焊进行焊接，纵缝和环缝的钢板厚度相同，坡口形式也一致（如图 1）。定位焊采用焊条电弧焊。

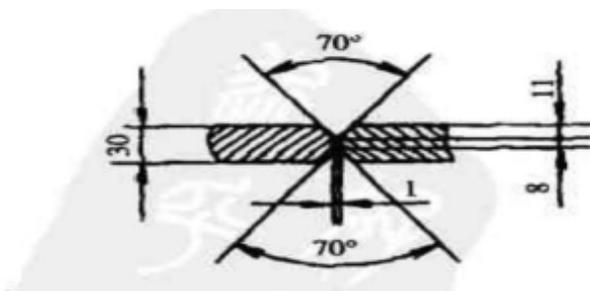


图 1：蒸汽锅炉锅筒的坡口形式

1) 采用刨边机制作接头坡口，并对坡口及其两侧各  $20\sim 30\text{mm}$  范围的铁锈、油污等杂质进行清理，使其露出金属光泽。

2) 在焊剂垫上进行定位焊，与此同时，在筒体纵缝两端装配产品焊接试板、引弧板和引出板（如图 2）。引弧板与引出板的尺寸均为  $150\text{mm} \times 100\text{mm} \times 30\text{mm}$ ，坡口均与接头坡口相同。

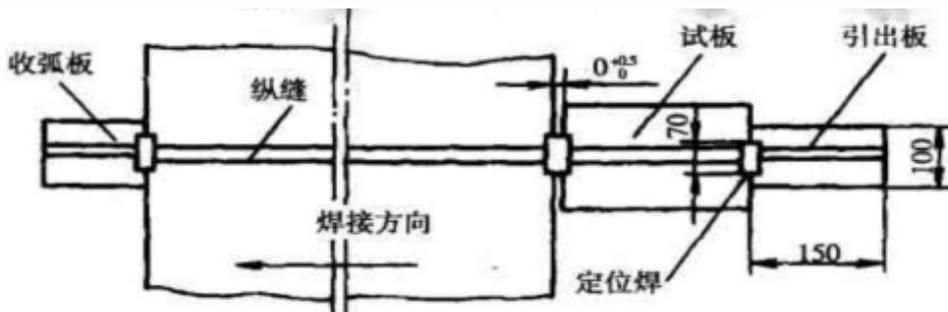


图 2：装配形式

3) 埋弧焊焊剂采用 HJ431，焊丝采用  $\phi 5\text{mm}$  的 H08MnA，焊丝伸出长度为 40mm；定位焊用焊条采用气保焊或手工焊条。

4) 焊前，焊剂在 300℃ 烘干 2h；焊条在 150℃ 烘干 2h。经烘干的焊剂、焊条放在 100℃ 左右的封闭保温筒里，随用随取。

5) 焊接工艺参数如表 2 所示。

| 焊缝位置 | 焊层 | 焊接电流 (A) | 电弧电压 (V) | 焊接速度 (m/h) |
|------|----|----------|----------|------------|
| 正面   | 1  | 680~730  | 35~38    | 22~25      |
|      | 2  | 630~670  | 35~38    | 22~25      |
|      | 3  | 530~580  | 36~38    | 22~25      |
| 反面   | 1  | 630~670  | 35~38    | 22~25      |
|      | 2  | 620~670  | 36~38    | 22~25      |
|      | 3  | 620~670  | 36~38    | 22~25      |
|      | 4  | 530~580  | 36~38    | 22~25      |

表 2：锅筒(壁厚 30mm)的埋弧焊工艺参数

6) 焊完正面焊缝以后接着焊反面焊缝，层间温度均控制低于 250℃。

7) 焊接纵、环缝正面第一道焊缝时，反面(锅筒外面)加焊剂垫，要求纵缝的焊剂垫在焊缝整个长度上都与焊件紧密贴合，且压力均匀，以防止液态金属下淌。

8) 环缝焊接时，无论是正面焊缝，还是反面焊缝，焊丝均与筒体中心线偏离 35~45mm 距离。

9) 焊接结束后，对锅筒的纵、环缝进行 100% 射线检测，结果为 II 级。对产品焊接试板进行检验，接头的强度和塑性均合格。

## 2. 碳钢纵缝埋弧自动焊

若干条 20 钢板采用埋弧自动焊进行对接纵缝的焊接，钢板长度为 2000mm 和 1000mm 两种。厚度为 20mm 焊接工艺如下：

1) 采用 V 形坡口双面自动焊，坡口尺寸见图 3。

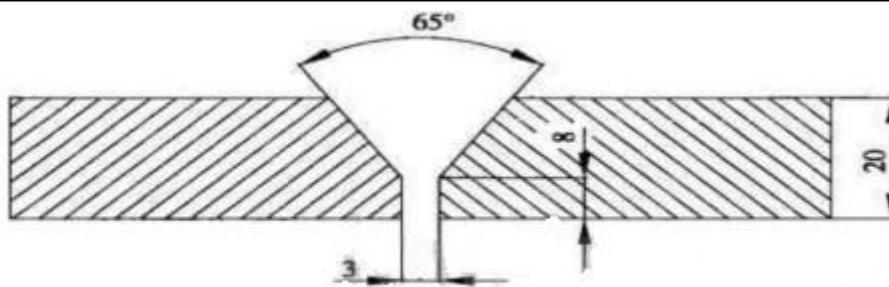


图 3：钢板对接坡口形式与尺寸

2) 清除坡口及其边缘的油污、氧化皮及铁锈等，对重要产品，应在距坡口边缘 30mm 内打磨出金属光泽。

3) 用 J427 焊条在坡口面两端预焊长约 40mm 的定位焊缝，长度大的工件还应增加若干中间定位焊缝。定位焊缝需有足够的牢固性以保证安全起吊。

4) 在接缝两端焊上与坡口形式一样的引弧板和引出板。

5) 将干燥的 HJ431 焊剂铺在槽钢上做成简易的焊剂垫，并用刮板将焊剂堆成尖顶，纵向成直线。

6) 将装搭好的焊件起吊、翻身，置于焊剂垫上。起吊点应尽量接近装搭焊缝处，以免装搭焊缝断裂。工件安放位置如图 4 所示，以防焊接时工件倾斜不平，在其两端轻轻垫上木楔。

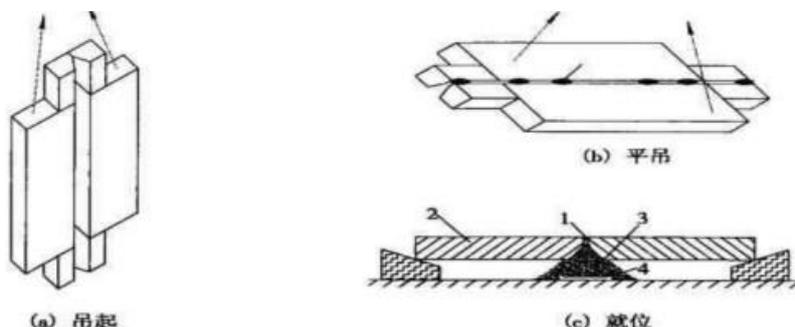


图 4 焊件的装配就位

1—定位焊缝；2—焊件；3—焊剂；4—槽钢

7) 对应工件纵缝安放轨道与焊车，装上  $\phi 5$ mm 的 H08MnA 焊丝，放入经 250℃ 烘干的 H431，工件接电源的负极。

8) 调整好焊丝和指针（或红外跟踪），选择好所需的焊接工艺参数（如表 3），从引弧板上起弧，起弧后对所选用工艺参数仍可作适当调整。焊接过程中要保证焊丝始终指向焊缝中心。焊接过程必须在引出板上结束。

| 焊接次序        | 焊丝直径 (mm) | 焊接电流 (A) | 电弧电压 (V) | 焊接速度 (m/h) |
|-------------|-----------|----------|----------|------------|
| I (背面焊缝)    | $\phi 5$  | 700~750  | 36~38    | 28~30      |
| II (正面第一层)  | $\phi 5$  | 650      | 35~37    | 30~32      |
| III (正面第二层) | $\phi 5$  | 700~750  | 38~40    | 28~30      |

表 3：20 钢对接自动焊规范



9) 将背面焊好的焊件吊起、翻身，用碳弧气刨和砂轮磨去焊根，并清理焊道。

10) 进行坡口正面的焊接。第一层尽量使焊缝呈圆滑下凹形，并保留坡口边缘线；第二层必须盖住第一道焊缝。焊毕割除引弧板和引出板。

来源：摘自网络