

气保药芯焊丝焊接操作手册

产品应用步骤:

1. 焊前准备:
 - 1.1 记录母材牌号, 查找化学成分, 计算钢材的碳当量 (C_E)
 - 1.2 船用碳钢和低合金钢的分类
 - 1.3 记录接头形式
 - 1.4 记录焊接位置
2. 确认母材的冷裂敏感指数, 计算母材的预热温度
3. 试验试板尺寸、焊道排布及推荐参数
4. 试件厚度覆盖的评定厚度范围
5. 焊后热处理
6. 焊接推荐参数及注意事项
7. 焊接参数推荐表

附录: 焊接工艺规程 (WPS)

1. 焊前准备工作

检查焊材: 焊丝直径, 焊丝牌号, 工字轮号, 批号, 生产日期。

检查母材: 坡口清洁度, 坡口角度, 坡口间隙, 钝边大小, 反变形设置。

检查设备: 设备品牌、型号, 电源输入线平方数, 输入电压, 焊机外观, 送丝机外观, 输出电缆是否加紧, 正负极接线是否正确, 焊接接地状况, 控制电缆连接情况, 焊枪配置, 导电嘴直径, 使用气体成分, 气体流量。

1.1 记录母材牌号, 根据母材化学成分计算钢材的碳当量 (C_E)

钢中碳当量越大, 焊接性越差。

$C_E < 0.25\%$ 时, 钢的焊接性优良, 焊接时不必预热。

$C_E = 0.25\% - 0.4\%$ 时, 钢的焊接性良好, 焊接时一般不预热。

$C_E = 0.4\% - 0.6\%$ 时, 钢的淬硬倾向逐渐明显, 焊接性尚可, 需要采取适当预热、控制热输入。

$C_E > 0.6\%$ 时, 钢的淬硬倾向强, 焊接性差, 需要较高的预热温度和严格的工艺措施。

根据国际焊接学会（IIW）推荐的估算碳钢和低合金钢碳当量（ C_E ）的公式为：

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

例 1：20 钢，成分是 $C=0.17\sim 0.24\%$ ， $Mn=0.35\sim 0.65\%$ 。

计算碳当量最大为：
$$C_E = C + \frac{Mn}{6} = 0.24 + \frac{0.65}{6} \approx 0.35\%$$

可据此判定 20 钢焊接性良好。

例 2：Q390C-Z15 钢化学成分 $C=0.17$ ， $Mn\leq 1.43$ ， $Si\leq 0.26$ ， $P=0.014$ ， $S=0.002$ ， $Nb=0.04$ ， $V=0.5$ ， $Ti=0.02$ ， $Cr=0.1$ ， $Ni=0.03$ ， $Cu=0.05$ ， $Mo=0.01$

计算碳当量：
$$C_E = 0.17 + \frac{1.43}{6} + \frac{0.1 + 0.01 + 0.5}{5} + \frac{0.03 + 0.05}{15} \approx 0.45$$

可据此判定 Q390C-Z15 钢的淬硬倾向逐渐明显，焊接性尚可，需要采取适当预热、控制热输入。

1.2 船用碳钢和低合金钢的分类

船用碳钢

A, 普通碳素结构钢：含硫、磷杂质较多，大量用于一般金属结构件和不太重要的机械零件号。其牌号是按屈服强度等级来分的。普通碳素结构钢的牌号有：Q195、Q215、Q235、Q255、Q275 等。

B, 优质碳素结构钢：含硫、磷和非金属杂质少，组织结构均匀。牌号按照钢中含碳量高低来分，常用牌号 08、10、15、20、25、30、35、40、45、50 等。

C, 一般强度船体用钢：含碳量在 0.18%~0.21% 之间，属低碳钢类别。分成 A、B、D、E 四个等级，A 级钢的冲击试验温度为 20℃，E 级钢为 -40℃。

船用低合金钢

船用低合金结构钢主要有两种：A 普通低合金结构钢；B 高强度船体结构用钢。

普通低合金结构钢：

在普通低碳钢（ $C=0.1\sim 0.25\%$ ）的基础上，加入总量小于 3.5% 的合金元素，即成为普通低合金结构钢。常用的普通低合金结构钢的屈服强度在 300MPa~500MPa 之间，分成 5 个强度等级。

| 强度等级 | 抗拉强度/MPa | 屈服强度/MPa | 典型钢种 |
|------|----------|----------|----------------------------|
| 1 | 400~500 | ≤310 | 09MnV, 09Mn2, 12Mn, 09MnNb |
| 2 | 500~600 | ≥350 | 16Mn, 19Mn6, 14MnNb |
| 3 | 520~680 | 360~420 | 16MnNb, 15MnV, 15MnTi |
| 4 | 550~750 | ≥420 | 15MnVN, 13MnNiMoNb |
| 5 | 700~1000 | 500~750 | 14MnMoV, 18MnMoNb |

表 1：普通低合金结构钢的强度等级

高强度船体结构钢：

按照屈服强度分为三个等级：（32）315MPa、（36）355MPa、（40）390MPa。而每个强度等级按冲击韧性的不同要求又分为4级，冲击试验温度：A级0℃、D级-20℃、E级-40℃、F级-60℃。

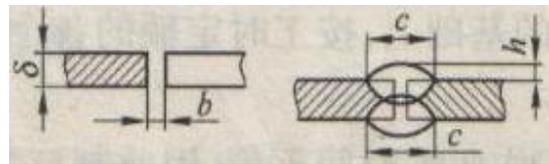
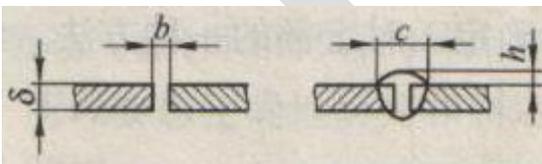
| 高强度船体结构用钢的力学性能 | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|--------------|-----------|----------------|---------|-----|---------|-----|-----------|-----|
| 等级/ 钢号 | 屈服强 度/MPa | 抗拉强 度/MPa | 延伸率 /% | 夏比 V 型缺口冲击试验钢材 | | | | | | |
| | | | | 试验温 度/℃ | 平均冲击功/J | | | | 厚度 t (mm) | |
| | | | | | T≤50 | | 50<T≤70 | | 70<T≤100 | |
| | | | | | 纵向 | 横向 | 纵向 | 横向 | 纵向 | 横向 |
| AH32 | ≥315 | 400~590 | ≥22 | 0 | ≥31 | ≥22 | ≥38 | ≥26 | ≥46 | ≥31 |
| DH32 | | | | -20 | | | | | | |
| EH32 | | | | -40 | | | | | | |
| FH32 | | | | -60 | | | | | | |
| AH36 | ≥355 | 490~620 | ≥22 | 0 | ≥34 | ≥24 | ≥41 | ≥27 | ≥50 | ≥34 |
| DH36 | | | | -20 | | | | | | |
| EH36 | | | | -40 | | | | | | |
| FH36 | | | | -60 | | | | | | |
| AH40 | ≥390 | 510~650 | ≥20 | 0 | ≥41 | ≥27 | 不适用 | | | |
| DH40 | | | | -20 | | | | | | |
| EH40 | | | | -40 | | | | | | |
| FH40 | | | | -60 | | | | | | |

表 2：高强度船体结构用钢的力学性能

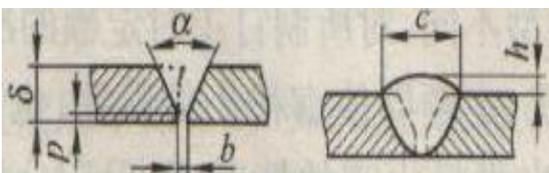
1.3 常用的接头形式

平板对接接头

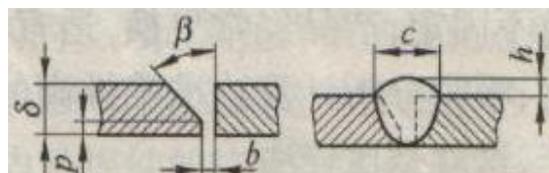
I 形接头



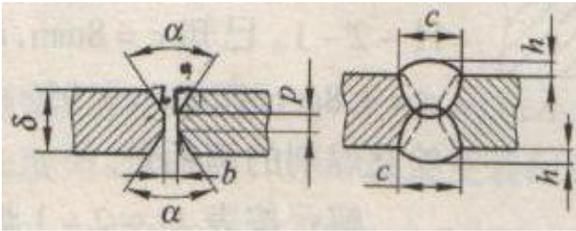
V 形接头



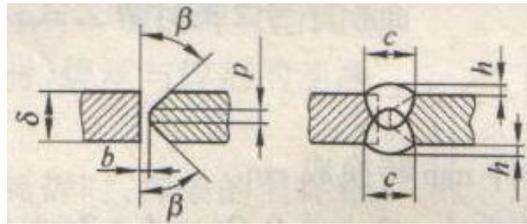
半 V 形接头



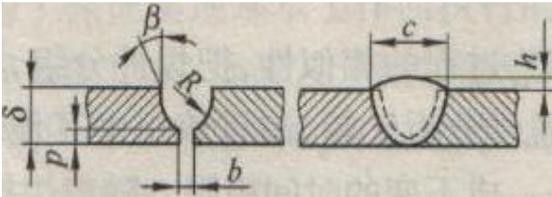
双 V 形接头



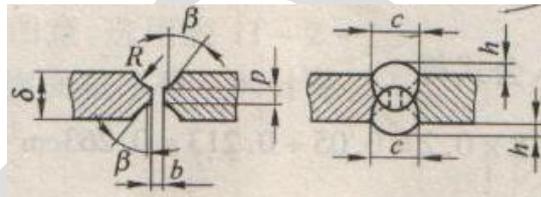
K 形接头



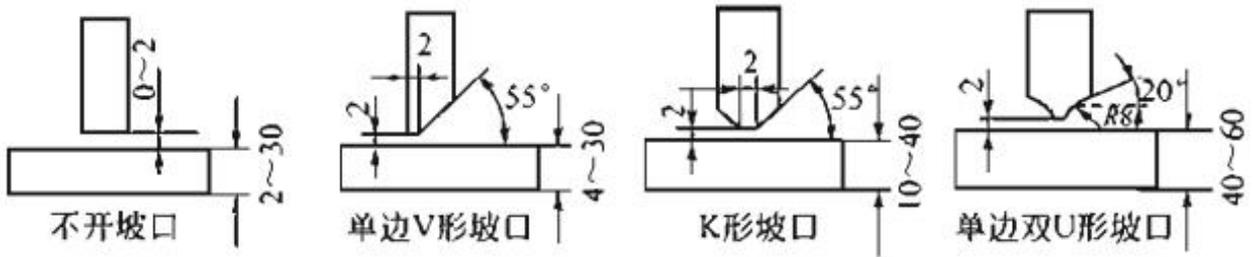
U 形接头



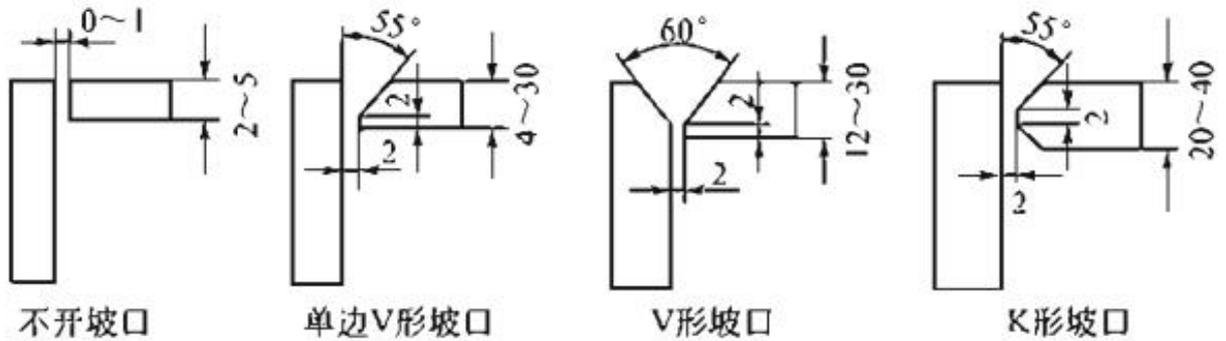
双 U 形接头



T 型接头



角接头



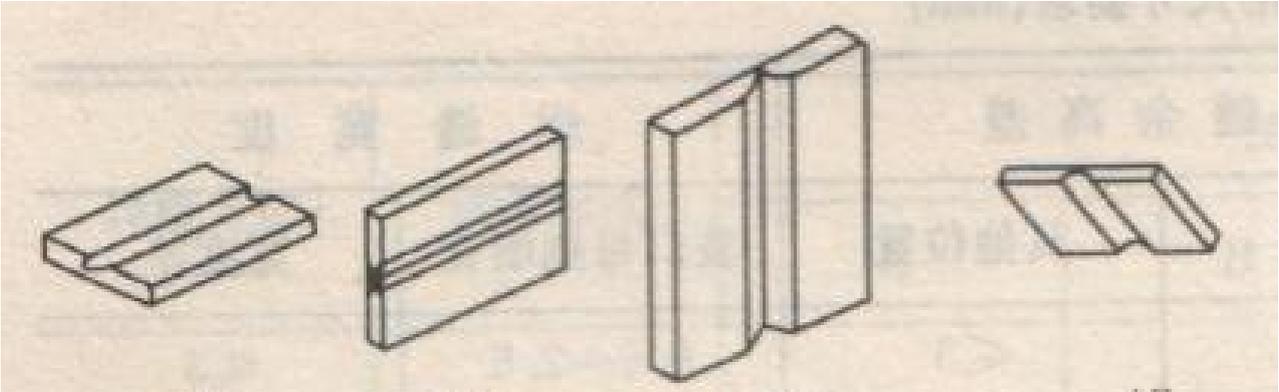
1.4 焊接位置

1G 平对接

2G 横对接

3G 立对接

4G 仰对接

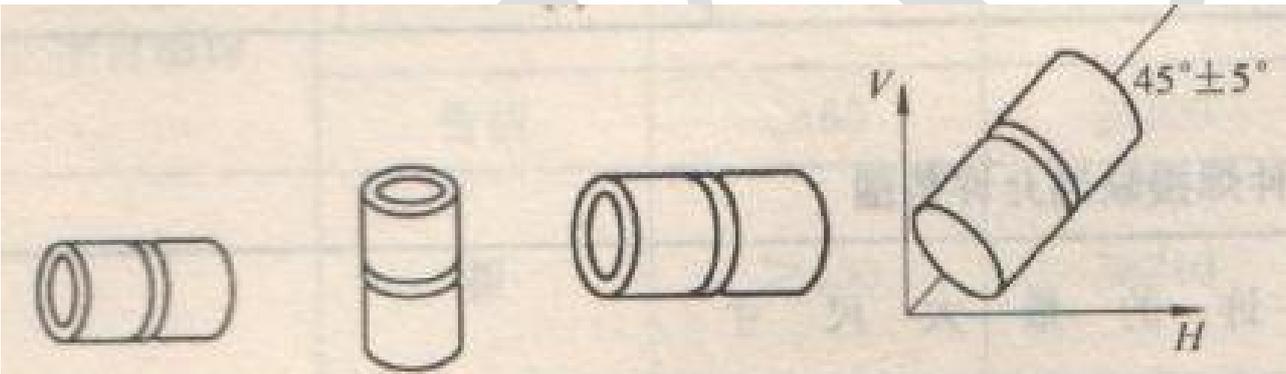


1G 转动焊接

2G 横对接

5G 全位置对接

6G 固定 45° 对接

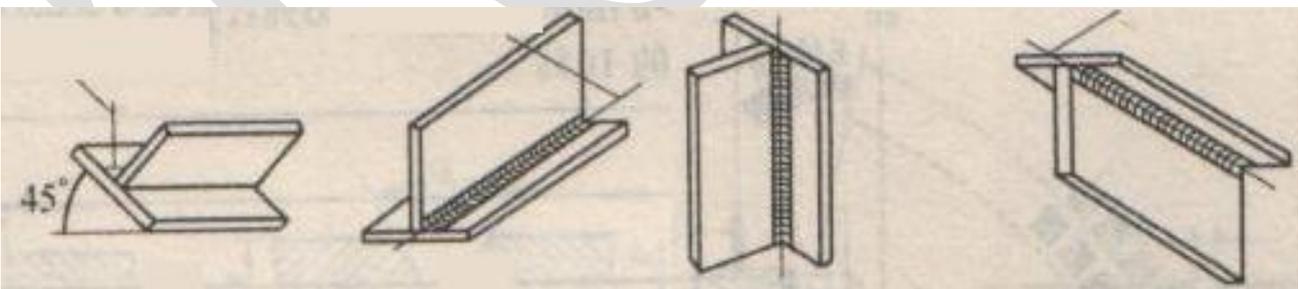


1F 平焊（船形焊）

2F 横焊

3F 立焊

4F 仰焊



1. 母材的冷裂敏感指数，计算母材的预热温度。

焊接预热的目的是降低焊接残余应力，对于厚度较大的低碳钢和低合金钢，通过预热可降低焊接残余应力，防止冷裂纹的产生。预热宽度一般为材料厚度的3倍，且不小于100mm。

$$\text{化学成分冷裂敏感指数: } P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn + Cu + Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

冷裂纹敏感指数: $P_C = P_{CM} + \frac{[H]}{60} + \frac{\delta}{600}$

最低预热温度: $t_0 = 1440P_C - 392(^{\circ}\text{C})$

注: 化学成分的冷裂敏感指数 P_{cm} 不大于 0.25 (%)

例 3: Q390C-Z15 钢化学成分 $C=0.17, Mn \leq 1.43, Si \leq 0.26, P=0.014, S=0.002, Nb=0.04, V=0.5, Ti=0.02, Cr=0.1, Ni=0.03, Cu=0.05, Mo=0.01$

化学成分的冷裂敏感指数: $P_{CM} = 0.17 + \frac{0.26}{30} + \frac{1.43 + 0.05 + 0.1}{20} + \frac{0.03}{60} + \frac{0.01}{15} + \frac{0.5}{10} \approx 0.26$

冷裂纹敏感指数, 与焊材扩散 H 含量, 板材厚度有关。

设: 药芯焊丝 $[H]=4\text{ml}/100\text{g}$, 板厚为 $\delta=30\text{mm}$ 。

$$P_C = 0.26 + \frac{[4]}{60} + \frac{30}{600} \approx 0.38$$

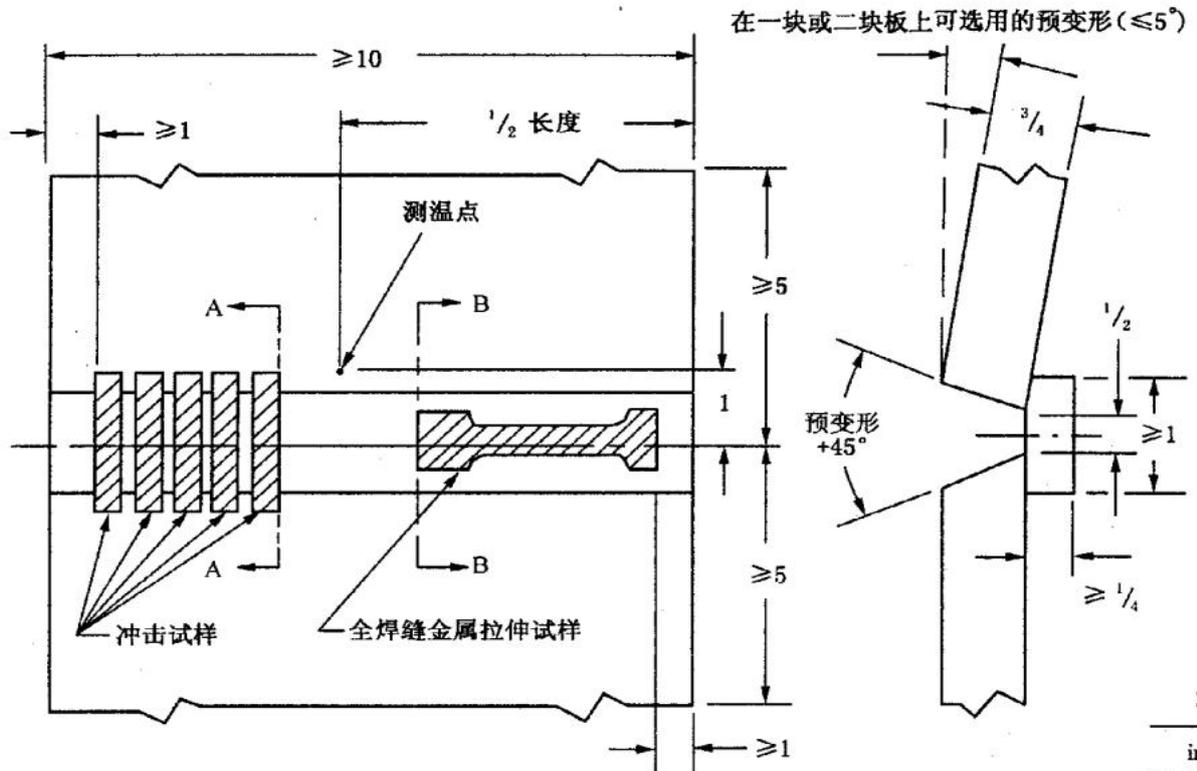
最低预热温度: $t_0 = 1440 \times 0.38 - 392(^{\circ}\text{C}) \approx 155^{\circ}\text{C}$

可据此计算出 Q390C-Z15 钢最低预热温度 155°C 。

1. 试验试板尺寸、焊道排布及推荐参数

试板尺寸

以 AWS 5.20/5.20M 为例, 试验试板尺寸为 $250\text{mm} \times 150\text{mm} \times 20\text{mm}$, 详细尺寸参看下图; 单位为英制。



| Diameter | | Required Average Heat Input ^{a, b, c, d} | | Suggested Passes per Layer | | Suggested Number of Layers |
|-------------------------------------|----------------------|---|---------|----------------------------|----------------|----------------------------|
| in | mm | kJ/in | kJ/mm | Layer 1 | Layer 2 to Top | |
| ≤ 0.030 0.035 | ≤ 0.8 0.9 | 20-35 | 0.8-1.4 | 1 or 2 | 2 or 3 | 6 to 9 |
| — 0.045 — | 1.0 — 1.2 | 25-50 | 1.0-2.0 | 1 or 2 | 2 or 3 | 6 to 9 |
| 0.052 — 1/16 | — 1.4 1.6 | 25-55 | 1.0-2.2 | 1 or 2 | 2 or 3 | 5 to 8 |
| 0.068 — 0.072 5/64 (0.078) | — 1.8 — 2.0 | 35-65 | 1.4-2.6 | 1 or 2 | 2 or 3 | 5 to 8 |
| 3/32 (0.094) | 2.4 | 40-65 | 1.6-2.6 | 1 or 2 | 2 or 3 | 4 to 8 |
| 7/64 (0.109) | 2.8 | 50-70 | 2.0-2.8 | 1 or 2 | 2 or 3 | 4 to 7 |
| 0.120 1/8 (0.125) | — 3.2 | 55-75 | 2.2-3.0 | 1 or 2 | 2 | 4 to 7 |
| 5/32 (0.156) | 4.0 | 65-85 | 2.6-3.3 | 1 | 2 | 4 to 7 |

表 3. 多层多道焊接推荐排道方式及热输入推荐范围

表 3 为 AWS5. 20/5. 20M 中对试板多层多道焊相关的热输入, 建议的层数和道数的规定。第一层建议 1-2 道, 其它层数推荐 2-3 道。采用多层多道焊的目的: 控制层间温度、降低热输入。根据母材厚度、坡口宽度, 确定层数与道数, 如下图所示。

例 4:

| 焊丝 | 焊丝规格 直径 mm | 总焊 道数 | 建议每层道数 | | 建议 层数 | 干伸长 mm | 排道例图  |
|--------------------|---------------|----------|--------|--------|----------|-----------|---|
| | | | 第一层 | 第二层~盖面 | | | |
| TOKO E71T-1J/9J | 1.2 | 12~19 | 1~2 | 2~3 | 6~9 | 20 | |
| | 1.4~2.0 | 10~17 | 1~2 | 2~3 | 5~8 | 20~25 | |

热输入 (线能量)

选用适当的热输入, 热输入与电流, 电压, 焊接速度有关。

注: 计算热输入时, 焊接电流、电压应使用万用表测定。

热输入计算公式:
$$H = \frac{60 EI}{1000 S}$$

H-热输入(KJ / mm); I-焊接电流 (A); E-电弧电压(V); S-焊接速度(mm/min)。

例 5: 焊丝直径 $\phi 1.2\text{mm}$, 焊接电流 250A, 电压 27.5V, 焊接速度 220mm/min

$$H = \frac{60 \times 250 \times 27.5}{1000 \times 220} = 1.875 \text{ kJ / mm}$$

典型焊缝力学性能

下列数据说明，药芯焊丝的热输入保持在 1.4-2.0 KJ/mm，层间温度保持在 150℃。能够得到符合 AWS 标准的力学性能的焊缝。

例 6: 以 TOKO E71T-1J/9J 药芯焊丝为例。

| 试件编号/直径/ 位置 | | 屈服强度 MPa | 抗拉强度 MPa | 延伸率 % | -40℃冲 击 J | 电流 A | 电压 V | 速度 mm/min | 道 数 | 热输入 KJ / mm |
|---------------------------|---|-------------|-------------|----------|--------------|---------|---------|--------------|--------|----------------|
| AWS A5.20 E71T-12C-JH8 | | 最小 390 | 490~620 | 最小 22 | 最小 27 | | | | | |
| TOKO 典型值 100%CO2 | | 490~560 | 560~620 | 28~30 | 93~149 | | | | | |
| 1.2mm 1G | 1 | 490 | 565 | 31 | 54~127 | 260 | 27.5 | 218 | 12 | 1.92 |
| | 2 | 540 | 605 | 27.6 | 40~134 | 255 | 27.5 | 220 | 10 | 1.91 |
| | 3 | 545 | 615 | 26 | 45~75 | 260 | 27.5 | 236 | 11 | 1.80 |
| | 4 | 515 | 575 | 24 | 53~107 | 270 | 26.0 | 240 | 12 | 1.74 |
| | 5 | 545 | 610 | 26.5 | 49~92 | 250 | 27.5 | 240 | 12 | 1.72 |
| | 6 | 580 | 635 | 26.5 | 67~116 | 255 | 27.5 | 287 | 13 | 1.47 |
| 1.4mm 1G | 1 | 483 | 557 | 30.2 | 37~86 | 260 | 27.0 | 198 | 11 | 2.13 |
| | 2 | 466 | 547 | 29.1 | 52~92 | 260 | 27.5 | 225 | 14 | 1.90 |
| | 3 | 490 | 555 | 29.0 | 45~114 | 260 | 27.0 | 245 | 11 | 1.72 |
| | 4 | 540 | 605 | 26.5 | 69~102 | 260 | 27.0 | 290 | 15 | 1.45 |
| 1.6mm 1G | 1 | 450 | 520 | 31.5 | 45~114 | 260 | 26.5 | 195 | 10 | 2.12 |
| | 2 | 485 | 555 | 29.5 | 38~86 | 260 | 26.5 | 219 | 11 | 1.89 |
| | 3 | 460 | 535 | 29.0 | 96~137 | 260 | 26.5 | 236 | 12 | 1.74 |
| | 4 | 475 | 540 | 29.0 | 20~128 | 260 | 26.5 | 246 | 13 | 1.68 |
| | 5 | 505 | 570 | 30.0 | 44~127 | 260 | 26.5 | 270 | 14 | 1.53 |

表 4. TOKO 焊丝 TOKO-E71T-1J/9J 实验数据

注：下列试件依照 AWS 标准制作，非刚性固定状态下焊接，如有刚性固定焊缝的强度、韧性、延伸率都会有所下降。

1. 试件厚度覆盖的评定厚度范围

根据 AWS D1.1/D1.1M 2008，板材试验厚度与其评定所覆盖的厚度范围如下表所示：

表 4.2
WPS 评定 — CJP 坡口焊缝:

试样的数量与类别以及评定所覆盖的厚度与直径范围 (见 4.4) (表中尺寸单位: in.)

| 1、板材试验 ^{a,b} | | | | | | |
|-----------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------------------------|-----|
| 试板公称厚度 (T) | 试样数量 | | | | 评定所覆盖的板材或, 管材公称厚度 ^{c,d} | |
| | 缩减面拉伸试样 (见图 4.14) | 根部弯曲 (见图 4.12) | 正面弯曲 (见图 4.12) | 侧面弯曲 (见图 4.13) | 最小 | 最大 |
| $1/8 \leq T \leq 3/8$ | 2 | 2 | 2 | (注 i) | 1/8 | 2T |
| $3/8 < T < 1$ | 2 | — | — | 4 | 1/8 | 2T |
| $T \geq 1$ | 2 | — | — | 4 | 1/8 | 无限制 |

a. 所有试板或试板焊缝必须经目检 (见 4.8.1), 并作 NDT (见 4.8.2)。每一被评定的位置必须有一试板或一试管。

b. 试板要求见图 4.10 和图 4.11。

c. 对背部不清根的平头坡口 (I 形坡口) 焊缝, 被评定所覆盖的最大厚度必须限制为试板厚度。

d. 任何厚度或直径的 CJP 坡口焊缝的评定所覆盖的范围包括任何尺寸的角焊缝或任何厚度或直径的 PJP 坡口焊缝 (见 4.10.3)。

1. 焊后热处理

焊后热处理是为了为改善焊接接头的组织和性能或消除残余应力而进行的。可根据相应要求进行焊后热处理。

• 去氢处理

试样焊接完成之后, 如需做去氢处理, 必须及时进行。将试样加温至 250°C 左右并保温一段时间。在这个温度下, 根据试样的厚度来确定保温时间 20mm/小时。例如 40mm 的试板则需保温 2 小时。通过去氢处理可以降低焊缝中的扩散氢含量, 降低氢致裂纹产生的可能性。

• 去应力处理

➤ 消除应力退火热处理的目的 (作用) 是什么?

- 1) 除和降低焊接接头中的残余应力
- 2) 善焊接接头中的金相组织和综合力学性能。强度有所降低, 提高塑性韧性, 同时硬度有所降低
- 3) 定结构尺寸和形状 (对金属结构件更为重要)

➤ 去应力处理的要求:

- 1) 焊件放入炉中时, 炉温严禁超过 600°F [315°C]。加热速率和冷却速率不宜过快, 以免产生不良组织引起性能不佳。
- 2) 调质钢达到最高温度 1100°F [600°C] 后, 或其他钢达到 1100°F [600°C] ~ 1200°F [650°C] 之间的平均温度后, 必须根据焊缝厚度将焊件保温, 保温时间严禁少于表 5.2 的规定。如为尺寸稳定而作

消除应力热处理，保温时间必须根据较厚部件的厚度确定，不得少于表 5 的规定

表 5.2
最少保温时间（见 5.8.1）

| ≤1/4 in. [6mm] | >1/4 in. [6mm]~≤2 in.[50mm] | >2 in. [50mm] |
|----------------|---------------------------------|---|
| 15min(分钟) | 板材每 1/4 in. [6mm] 15min 或根据比值确定 | 2h+A, A 为厚度超过 2 in. [50mm]后, 每增加 1 in.[25mm]要增加 15min 或根据比值确定 |

3) 在 600°F [315°C]以上温度进行冷却，必须在封闭的炉中或冷却室中进行，冷却速率不大于每小时 500°F [260°C]除以焊件中最大厚度[in.]的所得值，但任何情况下都不得大于每小时 500°F [260°C]。从 600°F [315°C]开始，焊件可在静止空气中冷却。

• 低合金钢焊后热处理

一些低合金钢要求进行焊后热处理，对于温度和保温时间也有相应的规定。可以根据相关 AWS 标准进行参考。下表为 AWS 中部分低合金钢的焊后热处理要求：

| AWS 类别 | 预热和层间温度 | | 焊后热处理温度 | |
|------------------|---------|--------|---------|--------|
| | ° F | ° C | ° F | ° C |
| E7XT5-A1, -A1M | 300±25 | 150±15 | 1150±25 | 620±15 |
| E8XT1-A1, -A1M | | | | |
| E8XT5-Ni1, -Ni1M | | | | |
| E8XT5-Ni2, -Ni2M | | | | |
| E8XT5-Ni3, -Ni3M | | | | |
| E9XT5-Ni3, -Ni3M | | | | |
| E9XT5-D2, -D2M | | | | |
| E10XT5-D2, -D2M | | | | |

例 7：使用以上焊材时，最终焊缝需要经过 620°C 的热处理，从而达到合适的力学性能要求。

2. 焊接推荐参数及注意事项：

推荐参数：

- 气保护药芯焊丝常选用 DC+，自保护药芯焊丝常选用 DC-。使用前查阅相关产品说明书。
- 试验焊接电流：（1G）250A-300A （3G）170A-220A
- 试验焊接电压：（1G）26V-33V （3G）21V-24V
- 试验焊接速度：200-330 mm/min

- 干伸长 15-25mm（注：根据焊丝直径及焊接电流大小确定。）
- 气体流量 15-20L/min
- 一般药芯焊丝热输入保持在 1.4-2.0 KJ/mm
- 根据需要预热母材，试验时层间温度，一般为 150℃

注意事项：

- 焊前清理（清除锈、油、氧化层），层间清理（清楚易产生缺陷区域以防止夹渣，气孔，热裂等缺陷。）
- 平焊试验时不建议摆动焊接（注：摆动焊接更易出现未焊透，夹渣等缺陷。）
- 焊后缓冷（注：冬天焊接建议增加保温措施，夏天禁止风扇直吹焊缝。）
- 对于有热影响区有硬度要求的一些客户，需要注意线能量及缓冷的控制。以免产生淬硬组织。
- 焊后热处理需要根据相应的要求及时处理。
- 每道焊缝排道均匀，保证每道焊缝表面无缺陷。打磨有缺陷部位，特别注意焊道中再次起弧部位。
- 背部碳刨清根后，打磨至金属光泽。打磨的目的是为了去除氧化层。
- 多层多道焊（注：控制热输入，多层多道焊有利于形成有益的焊缝组织。）
- 尽量减少对焊缝的刚性固定以减少裂纹产生的可能性

2. 焊接参数

焊接变量有电压，电流/送丝速度，焊接速度等，下表为二氧化碳气体保护的推荐参数。若使用混合气，只需将电压值降低 1~2V。

| 推荐参数 | | | | |
|------------|------------------------|-----------|----------------|------------------|
| 焊接位置 | 电流 (A) | 电压 (V) | 热输入 KJ / mm | 焊接速度 (mm/min) |
| 1G/1F | 220~300 | 26~33 | 1.8 | 173~330 |
| 3G/3F | 170~220 | 21~24 | 1.8 | 95~140 |
| 药芯焊丝操作参数范围 | | | | |
| 焊丝直径 | 送丝速度 IPM (inch/min) | 电流 (A) | 电压 (V) | |
| φ 1.2mm | 175 IPM | 130 | 21~24 | |
| | 225 IPM | 165 | 23~25 | |
| | 275 IPM | 185 | 25~27 | |
| | 325 IPM | 200 | 26~29 | |
| | 375 IPM | 230 | 27~29 | |
| | 425 IPM | 250 | 28~30 | |
| | 475 IPM | 270 | 29~31 | |
| | 600 IPM | 310 | 31~33 | |

| | | | |
|---------|---------|-----|-----------|
| Φ 1.4mm | 130IPM | 160 | 21~22 |
| | 150 IPM | 185 | 22.5~23.5 |
| | 200 IPM | 220 | 23.5~24.5 |
| | 250 IPM | 265 | 25~26 |
| | 300 IPM | 295 | 27~28 |
| | 350 IPM | 325 | 29~30 |
| | 400 IPM | 365 | 31~33 |
| | 450 IPM | 380 | 33~35 |
| Φ 1.6mm | 150 IPM | 210 | 24 |
| | 200 IPM | 265 | 26 |
| | 250 IPM | 310 | 28 |
| | 300 IPM | 355 | 31 |
| | 350 IPM | 380 | 33 |
| | 400 IPM | 410 | 35 |