

# 带极堆焊2205双相不锈钢焊材应用研究

刘玉华

北京燕华工程建设有限公司设备制造公司 北京 102502

**摘要:** 本文根据热高分气与混氢换热器、预加氢进料换热器等设备中管板带极堆焊2205双相不锈钢技术条件的要求,进行了国内双相钢焊带、焊剂与进口焊带、焊剂的多个组合应用试验研究,分析了目前国内用2205双相不锈钢堆焊焊带、焊剂的现状。

**关键词:** 双相钢; 铁素体; 焊接

## 1 序言

近几年我公司承接了多台热高分气与混氢换热器、预加氢进料换热器等设备。由于介质特殊,设备中的U形换热管多采用S32750超级双相不锈钢或S32205双相不锈钢,而管板大都采用

12Cr2Mo1IV锻件(或14Cr1Mo锻件或16Mn锻件)堆焊309MoL+2205双相钢。2205为Cr、Ni含量分别(质量分数,下同)为22%和5%的双相不锈钢,即组织为50%铁素体+50%奥氏体的双相组织。而带极堆焊技术条件中要求带极堆焊层铁素体含量为35%~65%,堆焊层Ni含量6.5%~9.5%(见表1)。

表1 堆焊层化学成分(质量分数)技术要求 (%)

| C     | Si    | Mn      | P     | S     | Cr      | Ni      | Mo      | N         |
|-------|-------|---------|-------|-------|---------|---------|---------|-----------|
| ≤0.04 | ≤0.90 | 0.5~2.0 | ≤0.03 | ≤0.02 | 21~23.5 | 6.5~9.5 | 2.5~3.5 | 0.08~0.20 |

合,在AUT图像中显示沿着焊缝的厚度方向产生的未熔合。这种焊接缺陷主要产生在平位接头和仰位接头的焊接位置,缺陷的高度超过了AUT的评定区域,缺陷基本上是垂直于焊道。产生的原因是焊工打磨不到位或引弧之前,焊枪枪距偏高、干伸长过短造成的。焊前要求焊工按着要求认真打磨焊接接头,调节好焊枪枪距及干伸长度,焊丝端头与焊道的距离在1~2mm之间,干伸长度在10~15mm之间,保证电弧的稳定性,防止焊接缺陷的产生。

## 3.4 咬边

焊接时,由于焊接参数选择不当,或操作方法不正确,沿焊脚的母材部位产生的沟槽或凹陷称为咬边。管道自动焊咬边一般都集中在仰焊位置,在设置焊接参数时,立填充焊道仰焊位置要焊接饱满一些,将焊道两侧的坡口棱边完全熔合,高出母材部分的焊道用磨光机打磨平整,为盖面层打好基础。盖面焊接时,当焊接到仰位时要求焊工要躺到

管下,这样能比较清晰地观察熔池状况。由于盖面是两道排焊,焊工要观察前、后焊枪的摆宽是否合适。摆宽过大、焊接速度过快容易在仰位产生咬边;摆宽过小、焊接速度过慢使熔池下垂也会产生咬边和焊道超高。

## 4 结束语

通过在施工中对长输管道自动焊常见焊接缺陷产生类型及原因的分析,总结出减少和避免焊接缺陷产生的有效方法,并在焊接过程中严格控制,提高了长输管道自动焊的一次合格率。

## 参考文献:

- [1] 张连生.金属材料焊接[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [2] 李国庆,张敬洲,冯艳东.RMD半自动根焊操作难点解析[J].金属加工(热加工),2009(2):44-45.

MW 20191203

## 2 焊接工艺的确定

### 2.1 进口堆焊焊带、焊剂试验

之前我公司制造过多台管板要求堆焊双相钢的设备，当时进行了广泛地调研并查阅了有关资料，国内几家双相钢带极堆焊大部分处于试验阶段。试验结果表明带极堆焊层铁素体含量偏低，一般在20%左右。为了能达到设备堆焊技术条件中铁素体含量为35%~65%，堆焊层Ni含量6.5%~9.5%的要

求，我公司最终采用进口比利时苏得凯的焊带和焊剂（过渡层：焊带Soudotape 21.13.3L/焊剂Record INT109；表面层：焊带Soudotape 22.6.3L/焊剂Record EST 4462-1）。焊带的化学成分见表2。

使用苏得凯的焊带进行了焊接工艺评定，虽然苏得凯Soudotape 22.6.3L焊带的Ni含量只有6%，但通过堆焊过程中焊剂的合金过渡，堆焊层的Ni含量能满足6.5%~9.5%的要求，见表3。且铁素体含量为35%~65%。完全满足堆焊技术条件的要求。

表2 焊带的化学成分（质量分数） 技术要求 (%)

| 焊材牌号               | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cr    | Ni | Mo  | N    |
|--------------------|------|------|------|-------|-------|-------|----|-----|------|
| Soudotape 21.13.3L | 0.01 | 0.20 | 1.80 | 0.020 | 0.010 | 20.20 | 14 | 2.9 | —    |
| Soudotape 22.6.3L  | 0.02 | 0.40 | 1.40 | 0.020 | 0.010 | 22.10 | 6  | 3   | 0.15 |

表3 堆焊层化学成分分析（质量分数） (%)

| 试样  | C     | Si   | Mn      | S     | P     | Cr        | Ni      | Mo      | 结果 |
|-----|-------|------|---------|-------|-------|-----------|---------|---------|----|
| 1号  | 0.04  | 0.28 | 1.11    | 0.010 | 0.023 | 22.25     | 7.81    | 3.33    | 合格 |
| 2号  | 0.04  | 0.23 | 1.12    | 0.010 | 0.025 | 22.45     | 7.88    | 3.21    | 合格 |
| 标准值 | ≤0.04 | ≤0.9 | 0.5~2.0 | ≤0.02 | ≤0.03 | 21.0~23.5 | 6.5~9.5 | 2.5~3.5 | —  |

### 2.2 国产堆焊焊带、焊剂试验

但由于进口焊带价格贵（进口焊带是国内价格的2.5倍，进口焊剂是国内焊剂价格的3.5倍）且供货周期太长，往往不能满足设备制造工期的要求。因此我们进行了国内2205双相钢带极堆焊试验。通过试验，我们发现目前国内双相钢带极堆焊基本上堆焊层满足铁素体含量35%~65%的要求，但满足不了Ni含量6.5%~9.5%的要求。而当Ni含量满足6.5%~9.5%的要求时，铁素体含量基本上达不到下限35%的要求。其他化学成分没有问题。

2205双相钢为Cr、Ni含量分别为22%和5%的双相不锈钢，即组织为50%铁素体+50%奥氏体的双相组织，双相不锈钢材料S32205化学成分见表4。

表4 双相不锈钢S32205化学成分（质量分数） (%)

| C     | Si   | Mn   | P     | S    | Cr | Ni | Mo  | N    |
|-------|------|------|-------|------|----|----|-----|------|
| ≤0.03 | <1.0 | <2.0 | 0.030 | 0.15 | 22 | 5  | 3.2 | 0.18 |

双相不锈钢焊接的难点是焊缝组织铁素体比例很难控制在35%~65%之间。影响因素主要是两个方面：一方面是焊材的影响。众所周知，熔焊意味着对焊接接头和近缝区母材做了一次局部热处理，由于焊接热循环非常快，从热动力学角度来看焊缝金

属达不到平衡状态，用与母材化学成分相同的填充金属焊接就会获得铁素体过高、力学与腐蚀性能较差的焊缝金属。镍是奥氏体稳定元素，因此，填充金属含较多的镍可使焊缝获得高比例的奥氏体。故一般2205双相钢焊条中的含镍量9%（母材含镍量5%），即焊条牌号为E2209。另一方面是焊接参数的影响。如前所述，熔焊意味着对近缝区造成不希望的热处理。这个区域，即热影响区（HAZ）或者更精确地称为高温热影响区，材料被加热到几乎全部变成铁素体的温度，冷却时部分铁素体才转变为奥氏体<sup>[1-2]</sup>。焊接双相不锈钢时，热输入和冷却速度是很重要的。为了获得最优的结果，焊接时应严格控制热输入，焊接热输入见表5。

表5 焊接热输入

| 材料       | 热输入/kJ·mm <sup>-1</sup> | 层间温度/℃ |
|----------|-------------------------|--------|
| SAF 2205 | 0.5~2.5                 | <150   |

另外，热输入的大小还取决于材料的厚度和焊接工艺，如薄管件，最好取下限且≤0.5kJ/mm；壁厚越厚，热输入越要接近上限。层间温度在任何情况下都应该控制在<150℃。

双相钢焊条电弧焊使用E2209焊条完美解决了

铁素体含量35%~65%，Ni含量6.5%~9.5%的要求。

而对于管板带极堆焊双相不锈钢的焊接，由于管板带极堆焊的焊带较宽为0.4mm×60mm，管板带极堆焊的焊接参数过高，层间温度较高，焊后冷却速度较慢，当焊带中Ni含量为9%时，使得焊缝中铁素体含量过低，从而达不到技术条件中铁素体含量35%~65%的要求。

而目前国内还做不到通过焊剂过渡Ni，所以如果采用和苏得凯焊带一样Ni含量6%的焊带，堆焊层铁素体含量能达到35%~65%的要求，但就满足不了Ni含量6.5%~9.5%的要求。为此，我们采用北京钢铁研究总院的D309MoL+ D2209焊带。焊带的化学成分见表6。

表6 焊带的化学成分（质量分数）（%）

| 焊材牌号    | C     | Si   | Mn   | P     | S     | Cr    | Ni    | Mo   | N     |
|---------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| D309MoL | 0.01  | 0.42 | 1.96 | 0.022 | 0.005 | 21.43 | 13.22 | 2.62 | 0.032 |
| D2209   | 0.015 | 0.39 | 1.93 | 0.023 | 0.005 | 23.32 | 7.72  | 3.10 | 0.139 |

从表6可以看出，2205双相钢堆焊的焊带Ni含量是7.72%，我们通过与SJ15B焊剂（电渣堆焊）、SHD202焊剂（电渣堆焊）、SJ2209DM焊剂（埋弧堆焊）进行了焊接试验，并使用苏得凯Soudotape 22.6.3L焊带分别与Record EST 4462-1和SJ15B匹配，进行了焊接试验。焊接试验结果见表7。

表7 焊接试验结果

| 焊带                | 焊剂                | 铁素体含量（%） | Ni含量（%） |
|-------------------|-------------------|----------|---------|
| D2209             | SJ15B             | 35~40    | 7.7     |
| D2209             | SHD202            | 27~31    | 7.99    |
| D2209             | SJ2209DM          | 39~42    | 8.69    |
| Soudotape 22.6.3L | Record EST 4462-1 | 40~45    | 7.88    |
| Soudotape 22.6.3L | SJ15B             | 43~48    | 5.98    |

从表7中可以看出，使用同一种堆焊焊带，配用不同的焊剂，铁素体含量有很大区别。由于SJ15B焊接脱渣性非常好，堆焊后渣壳立即脱落，使得堆焊层冷却速度加快，铁素体含量较高，满足了堆焊技术条件中铁素体含量35%~65%的要求，同时也满足了Ni含量6.5%~9.5%的要求。而采用SHD202焊剂，脱渣性略差，冷却速度减慢，铁素体含量不能满足堆焊技术条件中铁素体含量35%~65%的要求，但满足了Ni含量6.5%~9.5%的要求。SJ2209DM是埋

弧焊焊剂同时过渡合金元素，铁素体含量和Ni含量都能满足技术要求，但焊剂吸潮严重，400℃×2h烘干后，还是在堆焊层中出现气孔、夹渣等缺陷，无法满足堆焊要求。

苏得凯Soudotape 22.6.3L焊带配苏得凯Record EST4462-1焊剂，虽然焊带含Ni量不高，但堆焊层满足了堆焊技术条件中铁素体含量35%~65%的要求，同时也满足了Ni含量6.5%~9.5%的要求。而苏得凯Soudotape 22.6.3L焊带使用SJ15B焊剂，铁素体含量可以达到堆焊技术条件中铁素体含量35%~65%的要求，但Ni含量只有5.99%。这也证明了苏得凯焊带是通过焊剂过渡合金元素的。

### 3 结束语

1) 国内双相钢焊带目前现状：如果满足堆焊层铁素体含量35%~65%，就达不到Ni含量6.5%~9.5%的要求。而Ni含量满足6.5%~9.5%的要求，堆焊层铁素体含量就达不到下限35%的要求。

2) 目前国内双相钢焊带堆焊是通过调节Cr含量取上线，Ni含量偏下限，然后提高冷却速度（可以通过改善焊剂的脱渣性）来达到堆焊层铁素体含量35%~65%，同时也满足了Ni含量6.5%~9.5%的要求。

3) 国内焊带也在尝试通过埋弧焊剂过渡合金元素来达到铁素体和Ni含量的要求。但我们试验的结果是埋弧焊剂成形很差，容易产生缺陷，应用还不成熟。

4) 国内目前也在做试验，采用电渣焊焊剂过渡合金元素，达到铁素体和Ni含量的要求。但还需要进一步试验改进。

5) 根据试验结果，合理匹配国内焊带、焊剂，是可以保证堆焊层铁素体含量35%~65%和Ni含量6.5%~9.5%的要求。

### 参考文献：

- [1] 周振丰，张文钺. 焊接冶金与金属焊接性[M]. 北京：机械工业出版社，1988.
- [2] 姜威，张先龙，倪来兴，等. 2205双相不锈钢的焊接工艺试验研究[J]. 金属加工（热加工），2019（1）：32-35.

MW 20191220