

# 用镍基合金焊材焊接SA387Gr11CL2

高申华

【摘要】分析了SA387Gr11CL2材料用ENiCrFe-3焊条进行坡口面堆焊及环缝的焊接过程中存在的问题，从工艺、操作技巧等方面采取了措施，确保了用镍基合金焊材焊接SA387Gr11CL2铬钼耐热钢的质量。

**关键词：**镍基合金焊材；SA387Gr11CL2；焊接工艺

## 1. 概述

换热器直径1 860mm，长度13 850mm，设计压力：壳程9.5MPa、管程9.5MPa，设计温度：壳程270℃、管程280℃，操作介质：壳程为反应器进口气体、管程为反应器出口气体，管程和壳程的焊接接头系数均为1。此换热器为三类压力容器，筒体材质为SA387Gr11CL2，管板材质为SA336GrF11CL3，壳体部分焊后需进行整体消应力热处理，而换热管材质为S32205双相不锈钢，不能随壳体部分进行整体消应力热处理，因为双相不锈钢在整体消应力热处理温度范围内会产生脆化。考虑到上述因素，管板和壳体的两道环缝的坡口面采用了ENiCrFe—3焊材进行过渡层堆焊，待壳体的其余环缝和部件组焊完成后，进行壳体部分的整体消应力热处理，再进行筒体和管板的环缝（图1中的BW1、BW2）组对焊接以及换热管的穿制焊接等工序。这样筒体与管板的环缝用ENiCrFe—3焊材焊接后可以不进行消应力热处理，避免了换热管整体消应力热处理引起脆化的问题。

## 2. 焊接存在的问题

（1）SA387Gr11CL2冷裂倾向严重　SA387Gr11CL2为铬钼耐热钢，Cr、Mo含量较高，焊接接头有明显的淬硬倾向，特别是厚壁容器设备的拘束应力较大，在快速冷却的情况下，氢来不及逸出，易产生延迟裂纹。因此在焊接过程中应严格控制预热和层间温度，焊后应立即进行消氢处理或消应力热处理。

（2）镍基合金焊接时（ENiCrFe-3）热裂纹倾向大　镍基合金焊接过程中的主要问题是具有较高的热裂纹敏感性，过热区晶粒粗大现象。因为镍基合金具有较高的合金元素含量，组织是单相奥氏体组织，杂质元素与基体中的Ni、Fe作用，易生成低熔点的共晶物，偏析于晶界，在焊接应力的作用下而产生结晶裂纹；加之焊缝金属在凝固时形成方向性很强的单相奥氏体柱状结晶，低熔点共晶物偏析与柱状晶之间，在应力作用下极易开裂。而且镍基合金比热小，导热率低，工件处于高温状态时间长，晶粒严重长大，也促进了低熔点共晶物的形成。

（3）镍基合金焊缝金属流动性差、易产生气孔　镍基合金

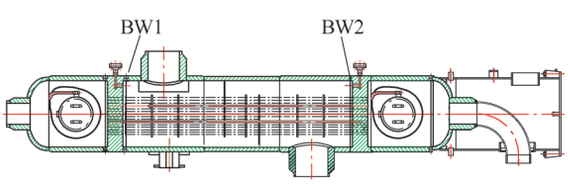



图　1

焊缝金属不像碳钢、合金钢和不锈钢焊缝金属那样容易润湿展开，流动性很差，熔深浅，易产生未熔合缺陷，即使增大焊接电流也不能改进焊缝的流动性，反而起着有害作用。当焊接电流超过推荐范围不仅使熔池过热，增大了热裂纹的敏感性，而且使焊缝金属的脱氧剂蒸发，出现气孔。形成气孔的原因还在于工件表面的潮气、油污、氧化物等，在焊接加热过程中这些杂质若清理不干净，被吸附和分解成$H_2$、水气，焊接熔池在高温液态下，更能溶解较多的$H_2$、$O_2$、$N_2$等气体。镍基合金密度大，熔池流动性较差，影响气体的逸出，因此易形成气孔。

### 3. 工艺措施和操作要点

（1）焊接方法　焊接工艺方法是能否焊好镍基合金的关键，焊条电弧焊、钨极氩弧焊、埋弧焊等方法在镍基合金材料的焊接上得到了广泛应用，并都能获得满意的焊接接头。但换热器壳体部分的零部件在整体消应力热处理前都已组对焊接完成，因此筒体与管板的环缝焊接时利用滚轮架连续转动的稳定性受到影响，而且靠近两道环缝的接管也给焊接带来障碍，制约了自动焊接方法的选用，从而选择了操作灵活，适应性强的焊条电弧焊，以克服上述因素，从而顺利完成两道焊缝的焊接。

（2）坡口形式　镍基合金熔化焊与其他钢类焊接相比有低熔透性的特点，熔池小，熔敷金属流动性差。从焊接性来看，不宜采用大的热输入来增加熔透性，以防止焊接材料过热，使脱氧元素过多的烧损以及焊接熔池过分搅动所导致的焊缝成形不良。为保证熔透，应选用大坡口角度和小钝边的接头形式。为此结合焊条电弧焊的特点，综合考虑焊接材料消耗和焊接时间最少而又能获得可靠的焊接接头，坡口的形式选择了单边V形坡口，单边坡口角度为12°，根部间隙为3mm，无钝边。实际坡口形式如图2所示。

（3）焊前的清理　焊前应将焊接区域的铁锈、水分、油污等用丙酮或甲醇进行清洗擦拭，或者用机械打磨等方法清理干净。如果工件表面的污物未清理或清理不干净，一方面会因为工件表面上这些污物中含有的氢、碳等元素，高温时溶入液态金属，凝固过程中形成气孔；另一方面会带来一些有害杂质：如P、S等，而镍及镍合金非常容易因为硫、磷以及其他一些低熔点物质的影响而变脆，降低了焊接接头的性能，也增加了镍基合金的热裂纹敏感性。堆焊的坡口面经过消应力热处理后，表面的氧化物应注意清除，因为该氧化物的熔点比纯镍高得多，在焊接过程中，氧化物不能被熔化仍保持固态，而形成了不完整的熔接和不连续的氧化夹杂。

（4）焊前的预热和层间温度的控制　筒体、管板的坡口面堆焊第一层时，应对堆焊件进行均匀加热，预热温度为120℃，

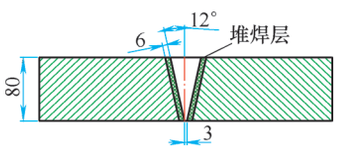



图　2

焊接时层间温度控制在150℃以下，并在此层堆焊完成后为防止冷裂纹的产生应立即进行消氢处理，消氢处理的温度为300℃，时间2h。其余层的堆焊及环缝对接焊时的层间温度和道间温度应控制在150℃以下。

（5）焊接操作要点　第一，施焊操作时，应控制尽可能短的电弧长度，焊条的倾斜角度应偏向于坡口侧壁，多道焊或堆焊时电弧吹力应该指向上一道焊缝的熔合线，这样焊条可不摆动或只需小幅摆动就能将熔敷金属摊铺上去。焊道的底部应该尽可能的平滑，以便下一道或下一层焊道的正常过渡，并确保所有的焊道都应该被熔敷材料所完全填充。

第二，起弧时应在距弧坑10~15mm处引燃电弧并快速移向弧坑，再在相反的方向以正常拖动电弧的速度移动，然后再次改变方向，沿焊接方向开始正常的施焊。在焊接收弧时，首先应该压缩电弧，并且加大焊接速度来减小熔池，这样能够减少弧坑裂纹和氧化及去除弧坑的咬边，为再次引弧做好准备。

第三，在焊接下一道或下一层前，应用凿子、风铲或不锈钢刷将焊渣清除干净，以防夹渣缺陷的产生。

（4）焊接参数　管板及筒体坡口面的堆焊参数如表1所示。管板与筒体对接环缝焊接参数如表2所示。

### 4. 产品的焊接质量

为确保焊接工艺的正确和焊接质量，产品施焊前按JB47014要求进行焊接工艺评定，焊工按锅炉压力容器、压力管道焊工考

（下转第76页）

喷焊前要对零部件进行预热处理，目的是为了减少组织热应力，防止产生裂纹，这样便于降低热影响区的温度，从而得到在较宽的温度范围内获得较均匀的温度分布，这样就大大减少因温度差而造成的热应力。通常预热到400～500℃后，便可以进行喷焊操作。

（2）工艺参数　喷焊时除工作气流量、弧压设定等相对稳定的参数外，其他参数要根据阀门喷焊量进行设定和搭配，首先选定熔敷率或喷焊速度参数，其他参数通过计算而确定。

焊道几何参数及堆焊量的计算：阀门密封面都是圆环焊道，对每种喷焊件的几何尺寸是设计确定的，在操作界面上给出了尺寸图及设计值，键入尺寸值，PLC系统会自动按计算公式给出该工件的合金喷焊量。

**6. 结语**

氧乙炔火焰喷焊通过选择Co基合金粉对承受高应力载荷和承受冲击磨损的部件进行强化，提高工件的耐磨性，增加工件的使用寿命，制造出满足不同要求的喷焊涂层。根据钼矿企业和氧化铝厂反馈的信息，使用喷焊处理过的高压料浆阀的阀芯和阀座进行喷焊强化或修复，在氧化铝料浆介质中的使用寿命提高了5倍左右。

总之，采用喷焊工艺，不但解决了堆焊技术无法实现的耐磨、耐蚀等工艺条件，而且为高压料浆阀在耐磨耐蚀等恶劣工况条件下提供了可靠的技术保障。

**参考文献：**

[1] 李国英.表面工程手册［M］.北京：机械工业出版社，1997.

[2] 王志健，田欣利.超音速火焰喷涂理论与技术的研究进展［J］.兵器材料科学与工程，2002，25（3）：62-65.

[3] 顾朝阳，翟卫平，肖爱丽.氧乙炔火焰金属粉末火焰喷焊技术的应用[J]，山东建材，1999(2)：31.

作者介绍：李广军等，河南泉舜流体控制科技有限公司。

MW 20170113

（上接第73页）

**表1　坡口面堆焊参数**

| 层次 | 焊条牌号 | 焊条规格/mm | 焊接电流/A | 电弧电压/V | 焊接速度/mm·s$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1～3 | ENiCrFe—3 | $\phi$4 | 125～135 | 23～25 | 2.5～3.5 |

**表2　环缝焊接参数**

| 层次 | 焊材牌号 | 规格/mm | 焊接电流/A | 电弧电压/V | 焊接速度/mm·s$^{-1}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1～3 | ENiCrFe—3 | $\phi$3.2 | 85～100 | 20～22 | 2.0～3.0 |
| 其余焊层 | ENiCrFe—3 | $\phi$4.0 | 125～140 | 23～25 | 2.0～3.0 |

试规程要求进行了技能考试。

（1）管板及筒体的坡口面堆焊质量　按上述的堆焊工艺参数和操作要领对坡口面进行了堆焊，共堆焊了3层，堆焊面平整，外观质量达到要求，并逐层进行了100%PT检测，按JB47013—2015Ⅰ级要求，堆焊面未发现气孔、裂纹、未熔合等缺陷。

（2）管板与筒体对接环缝的焊接质量　管板与筒体对接的环缝在焊到30mm厚度（内控检查）时及全部焊满后，按JB47013—2015Ⅰ级要求进行了100%PT检测，检查结果焊缝无任何缺陷，并且按JB47013—2015Ⅱ级要求进行100%RT检测，两道环缝在RT检测时只有1处出现条型超标缺陷，其余一次检测合格。全部焊满后还按JB47013—2015Ⅰ级要求进行了100%UT检测，检查结果一次合格。

**5. 结语**

SA387Gr11CL2铬钼耐热钢焊接后需整体消应力热处理，当设备中其他部件不能进行整体消应力热处理时，用镍基合金焊材进行焊接，解决了此类设备的制造难题。

用镍基合金焊材焊接SA387Gr11CL2材料，采取有效的焊接工艺措施和操作要领，完全可以获得高质量的焊接接头，也为今后镍基合金的焊接积累了经验。

**参考文献：**

[1] 曾乐.现代焊接技术手册[M].上海：上海科学技术出版社，1993.

[2] 陈祝年.焊接工程师手册[M].北京：机械工业出版社，2009.

作者简介：高申华，南化化机厂。

MW 20170113