



镍基合金复合管道脉冲钨极氩弧焊打底焊接工艺

刘立永 唐元生 杨永强 陆斌 刘永华 张之万

【摘要】 通过革新改进焊接方法等措施,采用直流脉冲钨极氩弧焊(GTAW+P)根焊打底及热焊层焊接工艺,减小了焊接过程中的热输入,减少晶粒组织变大几率,提高了焊缝金属的组织稳定性、塑性和韧性。

关键词: 镍基合金管道; 脉冲钨极氩弧焊; 焊接过程控制; 焊后检测

为了能够使中石化普光气田分公司天然气运输管道检修工作顺利开展,我公司按照签订的合同要求,进行焊接技术研发。经过第一阶段的焊接工艺研发所得经验和结果,组织和实施第二阶段的焊接工艺筛选和正式焊接工艺评定。经试验结果比对,可见试件在耐腐蚀(点蚀、晶间腐蚀开裂)试验中所出现的问题较多。针对以上问题的出现,各专家和教授进行了讨论和研究,通过革新改进焊接方法等措施,以减小焊接过程中的热输入,减少晶粒组织变大几率,提高焊缝金属的组织稳定性和塑韧性。

下面介绍革新工艺当中的直流脉冲钨极氩弧焊(GTAW+P)根焊打底及热焊层焊接工艺。

1. 材料特性

镍基合金具有良好的高温强度和优良的耐磨损、耐高温、抗热震冲击、抗氧化性能和优良的耐强酸、碱性介质和含有氯离子

的氧化还原介质等物质的腐蚀,主要用于石油、化工、环保、航天以及核工业等行业各类零部件的制造、修复和预保护。但镍基合金导热性差、线膨胀系数大、冷却速度较快、熔合性能较差,焊接过程中保护不当会产生熔池氧化等,增加了焊接难度,因此应该选择操作技能水平较高、有丰富经验的焊工进行施焊。材料的化学成分如表1所示,常温下力学性能如表2所示。

2. 直流脉冲钨极氩弧焊原理及特点

脉冲钨极氩弧焊的原理是用可控的脉冲电流加热熔化工件,每一个脉冲会形成一个点状熔池。脉冲频率间歇时,仅有维弧电流继续工作,熔池凝固而形成一个有效焊接接头。当下一个脉冲电流作用时,在已凝固焊接接头的局部和母材上产生第二个点状熔池,当出现第二个脉冲频率间歇时,熔池又凝固成第二个有

表1 镍基复合材料化学成分(质量分数) (%)

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe	Ti	Al
规范值	≤0.05	≤0.5	≤1.00	≤0.02	≤0.005	19.5 ~ 23.5	38.0 ~ 46.0	2.5 ~ 3.5	1.5 ~ 3.0	≥22.0	0.6 ~ 1.2	≤0.2
实测值	0.019	0.211	0.53	0.011	0.001	22.69	38.86	3.22	1.90	29.98	0.81	0.110

表2 镍基材料力学性能

力学性能	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率(%)	剪切硬度HBW
规范值	≥415	≥457	≥20	≤250
实测值	354	473	53.5	414

效焊接接头并与前一个相连接。依此周而复始地进行，便形成一条完整的焊接接头。

脉冲钨极氩弧焊的特点是：

①可以精确控制对工件的热输入和熔池尺寸，提高焊缝抗烧穿和熔池的保护能力，易获得均匀的熔深，特别适用薄板、全位置焊接和单面焊双面成形。②由于每个焊点加热和冷却迅速，所以也适用于焊接导热性能差和厚度较大的工件。③脉冲电弧热输入较低且熔深较大，因此在同样条件下，能减小焊接热影响区和焊接变形，这对薄板、超薄板焊接有更显著地效果，能够改善镍基合金熔合性较差现象。④焊接过程中熔池金属冷凝快，高温停留时间短，可减小对热量特别敏感材料焊接时产生裂纹的倾向。

综合上述材料特性与工艺特性的比较，可以发现直流脉冲钨极氩弧焊，能够满足焊接镍基合金的要求，并能够减少镍基合金焊接过程中易出现熔合性能不好、过热组织、晶粒长大、裂纹等倾向。

3. 焊接材料选择

根据SH/T3523《石油化工铬镍不锈钢、铁镍合金和镍基合金焊接工艺规程》规定，镍基合金钢氩弧焊接时应按与材料等成分的原则选择焊接材料，根据以上

材料所含化学成分含量筛选，可发现ERNiCrMo—3的化学成分，能够满足母材焊接的需求，所选焊接材料为实芯氩弧焊丝，根焊打底时需要进行背面充氩气保护。焊接材料合金成分实测值如表3所示。

4. 焊前准备和坡口组对

在焊接前确认设备的可调节性、电流输出的稳定性。焊接电源绝缘良好，有可靠的接地。正确穿戴劳保防护用品，打磨时要带上打磨面罩或防护眼镜。焊接前确认焊接电流和坡口间隙大小是否合适。组对前检查坡口的角度是否适合施工要求，并把坡口两侧20mm范围内油污、锈迹等打磨干净。用丙酮擦拭坡口和焊丝，戴干净的手套，并保持场地整洁。组对前对母材的材质、管径、厚度、焊丝型号进行确认，是否匹配合适。焊接前确认施工环境是否满足焊接要求，做好挡风等防护措施。准备背面充氩气保护的设备和工具，并保证背面保护氩气纯度 $\geq 99.99\%$ 。点固组对采用搭桥或夹具连接组对，点固位置应在基层侧，焊接完成后把焊点打磨圆滑。层间打磨清理时采用不锈钢砂轮片或不锈钢丝刷。

5. 焊接过程

坡口组对前应在管道内侧靠

近坡口200~300mm处放置充气工具（或背部拖罩），如岩棉等不易熔化、燃烧的材料。施焊前确认施焊环境温度，当温度低于0℃时，要做焊前预热，预热宽度为焊缝及坡口两侧100mm范围，并且预热温度 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 。

将焊丝端部用氩弧焊加热后快速放进管道内部，用来检查背面充氩气保护浓度，当焊丝端部呈现银白色时，说明管道内部保护氩气的浓度已经达到焊接要求。检测管道内部充气合格如图1所示。

脉冲钨极氩弧焊打底过程中，焊枪角度应该随着焊接位置的变化而变换，并且为了能够更好的熔合，焊枪要与母材保持合适的后倾角度。焊接过程中焊枪做轻微摆动，减小焊接热输入对热影响区的影响，防止焊道晶粒组织变大，提高焊接接头的塑韧性，降低出现热裂纹的倾向。脉冲钨极氩弧焊打底焊接时要在脉冲高峰值出现并打开熔孔时续送焊丝，续送的焊丝量要充足，主要根据间隙和熔孔大小而定，以保证背面两侧融合良好和足够的背面穿透高度。采用点续送方式，送进焊丝的端部不得脱离氩气保护区域，以防焊丝端部产生氧化现象，再次送进时氧化

表3 焊接材料ENiCrMo—3化学成分（质量分数）（%）

化学成分	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Fe	Mo	Cu	Ti	Nb	Al
规范值	≤ 0.10	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.015	≤ 0.02	20~23	≥ 58	≤ 5.0	8~10	≤ 0.50	≤ 0.40	3.15~4.15	≤ 0.40
实测值	0.012	0.001	0.16	0.001	0.004	22.6	64	0.05	8.9	0.02	0.20	3.59	0.10



图1 检测管道内部充气合格

杂质溶进到液态熔池中。用于送进焊丝的手应找到牢固可靠的支撑点，以免手腕抖动造成焊丝送进不良，产生内部焊缝凹陷、焊缝金属连接不良、焊缝夹钨等缺陷。停弧时，应把停弧处拉到母材的坡口处，熄弧采用电弧衰减法或熄弧前点送焊丝增加收弧处的厚度，防止产生弧坑裂纹及缩孔。再次起弧前对停弧处进行砂轮打磨，修出斜面的接头形式，待接头部位处充分熔孔后方可继续送焊丝，保证背面接头处熔合良好。

脉冲钨极氩弧焊固定口打底焊接时，由于镍基合金材料下坠和流动性较差的原因，在6点位置焊丝端部的送进位置应在坡口根部，并适当增加焊丝送进量，以保证坡口背面焊接质量。在3、9点位置焊接时应适当加快焊接速度、点送丝速度，以降低熔池高温停留时间，减少晶粒粗大倾向。打底焊接过程中，尽量减少使用磨光机打磨焊道，过多使用砂轮打磨会破坏管道内部充氩气保护的气体浓度，造成背面保护不良。根焊打底成形如图2所示。

根焊打底层的正面厚度不得超过3mm，以防止基层材料对根部焊道的稀释。由于根焊打底层较薄，不适于大直径焊接材料的填充焊接，故在热焊层也采用脉冲钨极氩弧焊工艺进行填充。对完成根焊打底的焊道用不锈钢丝刷清理，完成清理后进行热焊层的焊接，热焊层最好采用摇把方法焊接，这样可以将残留的氧化物甩到焊道边缘，保证熔池内的清洁度并提高焊道的熔合性。热

焊层成形如图3所示。

镍基合金材料焊接过程中要严格控制层道间温度，温度控制在100℃以下。在焊缝厚度未达到8~10mm以前，不得撤离背面充氩气保护措施。脉冲钨极氩弧焊根焊打底及热焊层焊接参数如表4所示。

6. 质量检查

对完成根焊和热焊的试件进行质量检查，以采用高倍放大镜检查进行外观检测为主。要求焊道背面和正面不得有未融合、气孔、咬边、坠瘤、裂纹、弧坑及保护不良等缺陷。镍基合金的试件检查不得使用渗透剂等有机物进行检测，以防止有机物渗透到熔池中，造成开裂现象。发现缺陷时

要及时修补，对于问题较严重，机械清理不理想的试件，应进行整口切割重新焊接。检查合格后的焊道可采用焊条电弧焊、熔化极脉冲MIG焊、埋弧焊工艺进行填充盖面。

7. 结语

脉冲钨极氩弧焊与无脉冲钨极氩弧焊相比较：热输入小、热影响区宽度小、增加熔池搅拌能力使液态熔池合金元素分布更均匀、增加熔敷深度、脉冲电流峰值能够增加电弧挺度，使电弧燃烧更稳定等优点。通过实践对比，发现脉冲钨极氩弧焊比无脉冲钨极氩弧焊，更能够胜任镍基合金根焊打底层的焊接。

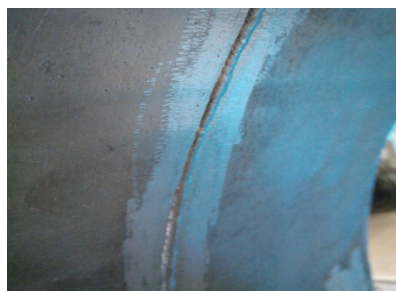


图2 根焊打底成形

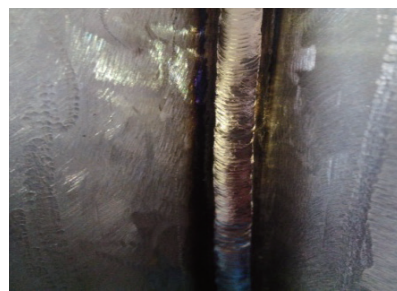


图3 热焊层成形

表4 焊接参数

焊接层次	焊接电流/A	电弧电压/V	脉冲频率	脉冲宽度	脉冲电流/A	低中高频
根焊层	60	12	10~15	20	90	低频
热焊层	130	15	20~25	20	120	低频

作者简介：刘立永等，中国石化集团第十建设有限公司。

MW 20170626