

锆材的焊接及现场实用报告



一、简介

锆是一种耐腐蚀金属材料，它是一种化学性质非常活泼的元素，一般都应用在化工行业中，在高温下极易与大气中的各种气体发生反应。在锆焊接时，焊缝和热影响区易被空气中的氧、氢、氮等元素污染，生成硬而脆的化合物，并产生脆性的针状组织，使焊接接头的硬度、强度升高，塑性下降，耐蚀性能也大幅下降。因此锆焊接时应对熔池、焊缝和热影响区进行充分的保护以完全隔绝空气。锆材的焊接一般用钨极惰性气体保护电弧的焊接方法进行焊接居多，其他的焊接方法包括：电子束焊、等离子弧焊和电阻焊等。它的焊接性能和钛金属焊接比较接近，由于锆的热膨胀系数和弹性模量小，因而焊接变形和焊缝残余应力比较小，建议在 1100° F(594℃)下焊缝的消除应力时间为 1 小时/英寸厚度。在不受污染的情况下，焊缝不易出现结晶裂纹和冷裂纹。锆在高温下一般容易与大气发生反应，在 200℃就开始吸收氧，300℃吸收氢，400℃吸收氮，温度越高反应的强度越剧烈。锆焊接的另一个主要问题就是焊缝中容易过于软化而导致焊件错动，根部焊道容易烧穿，因此焊接锆时，应合适地固定焊件并尽量采用双面焊。除钛、铌、银、钒之外，锆不能和其它金属直接焊接。

二、焊接方法及焊材的选用

1、锆与锆合金采用的钨极氩弧焊焊接选用的焊丝一般与母材相同，锆材焊丝的选用应符合 ASME 标准 SFA-5.24 中的有关规定及要求，焊丝经外观检验：其外观必须光滑、圆整，不允许存在毛刺、皱皮、重叠、裂纹、孔隙等缺陷，必要时进行金相微观检查，不允许存在偏析、夹渣等缺陷。下面是常用锆与锆合金焊接推荐选用的焊丝：

序号	母材牌号 (SB658)	焊丝牌号(AWS)
1	R60702	ERZr2
2	R60704	ERZr3
3	R60705	ERZr4

2、施工环境应符合的相关要求

- 2.1 设立专用的预制场地，同时焊接场所应保持清洁、干燥。
- 2.2 环境温度应大于 5℃。
- 2.3 焊接场所严禁有黑色金属焊接、切割、打磨等工作。
- 2.4 现场焊接时应有防风、防雨措施，当风速大于 0.5m/s，相对湿度大于 80%，禁止施焊。

3、施工准备

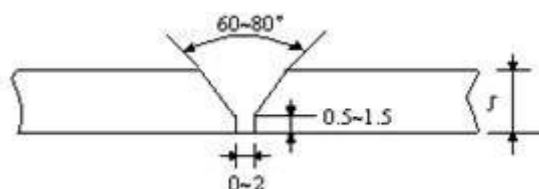
3.1 从事锆材施工的人员必须具备并掌握锆材的特殊物理性能和化学性能的知识，并在此基础上正确从事锆材的搬运、切割、组对等工作。此外，还需具备良好的专用预制场地。

3.2 从事锆材焊接的焊工应按照 ASME 标准第 IX 卷要求进行考试，考试内容及项目应与实际从事的锆材焊接项目相符，焊工考试合格后，方能从事锆材的焊接。

3.3 锆材焊接工艺评定和焊工技能评定弯曲试验应按下表规定：

试样厚度mm	弯轴直径mm	支撑间距mm	弯曲角度°
$T \leq 9.5$	$10t$	$12t+3.2$	180

3.4 焊件的坡口型式和组对：在一般情况下坡口型式和尺寸的选用应重点考虑，遵守易于保证焊接质量，减少填充金属量，便于操作和减少焊接变形等原则。当设计无规定时，焊件的坡口型式和尺寸可参照下图：



3.5 锆材管子切割前应核对材质和规格，并做好材质标记的移植工作，应使用无腐蚀的记号笔，严禁打钢印，锆材切割应使用机械方法，若使用等离子或砂轮切割，切割时管子转动，使其始终处于最佳位置，采用等离子切割时应采取措施保护管子内外表面，以防表面被

火花灼伤，并用机械方法去除污染层。经常清理工具上的污物，每次使用前应清洁，无任何杂物。锆材管子无论用机械加工或锯切后，还应使用锉刀修磨切口，然后用不锈钢刷或电动不锈钢丝轮等工具进一步加工，使坡口表面平整光滑，无毛刺、凹坑、沙粒等缺陷。管子、管件组对过程中，不允许强力组对，严禁锤击或划伤材料表面。

3.6 由于锆材焊接时液态金属流动性特别好，管子坡口组对装配时钝边、间隙应严格按工艺指导书规定，以免焊接时烧穿。管子管件定位焊的工艺措施及焊接材料应与正式焊接一致，点焊高度不得超过管壁厚的 $3/2$ ，定位焊的焊缝不得有裂纹、气孔或不允许存在的氧化变色等缺陷，否则应打磨。

三、焊接工艺

1、焊接工艺参数

母材厚度 (mm)	钨极直径 (mm)	焊丝直径 (mm)	喷嘴孔径 (mm)	焊接电流 (A)	氩气流量 (L/min)			焊速 (m/h)	备注
					喷嘴	拖罩	背面		
0.8	1.6	1.2	10	45~55	8~10	-----	6~8		手工钨极氩弧焊
1.6	2.0	1.6	10	50~60	8~10	14~16	6~8		
2.0	3.0	2.0	12	60~70	8~10	14~16	6~8		
3.0	3.0	2.0	14	95~120	12~14	16~18	12~14		
4.0	4.0	2.0	16	140~150	12~14	16~18	12~14		
5.0	4.0	2~3	18~20	165~175	12~14	16~18	12~14		
6.0	4.0	2~3	18~20	165~185	14~16	16~18	14~16		
12.0	4.0	3.0	18~20	170~200	18~20	20	14~16		
0.5	1.6	1.2	10	40~50	8~10	-----	6~8	40~50	自动焊
1.0	2.0	1.2	12	60~70	8~10	-----	6~8	38.4	
1.6	3.0	1.6	14	70~80	8~10	14~16	6~8	38.4	

锆及锆合金钨极氩弧焊工艺参数

2、焊前清理

2.1 对于锆材的切割和坡口加工，可以采用机械方法，也可以采用氧-乙炔焰、等离子弧等热切割方法，但热切割会产生强烈的火烟，切口周边材料被严重污染，必须打磨清除，造成浪费，因此在切割工件时，尽可能采用机械方法，如锯、车、铣、钻、刨等加工方法，配合水冷却液降温，避免温升造成材料损失。坡口周边 25mm 内外表面较厚的氧化膜，可使用锉刀、电磨、砂轮机进行清理。坡口表面应光洁，无毛刺、凹坑、残存沙粒等缺陷，最后还应使用不锈钢丝刷仔细清理。加工使用的工具应为专用，保持清洁。加工产生的屑、沫堆积在空气中会产生自燃，应存放在盛水的容器中。另外在加工完成的坡口周边 75mm 范围内

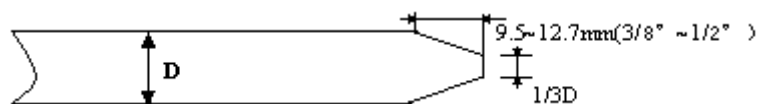
外表面，还应使用合适的溶剂（丙酮、酒精）擦洗，除去油脂、水分、灰尘，擦洗应采用干净的海绵或白绸布，不得使用毛巾、棉纱。不允许带橡胶手套。清洗过程中应反复擦拭焊件直到海绵上无污色为止。清洗好的焊件应立即焊接，焊件置放时间不得超过 8 小时，否则应再次清理。

2.2 填充焊丝使用前应用溶剂清除表面上的油脂，残留润滑剂和灰尘等污物，清理好的焊丝应放在干燥和干净的场所保存。

3、施工过程中应注意的事项

3.1 焊接用气体为纯氩，氩气纯度应达到 99.99%，当瓶装氩气压力低于 0.978Mpa 时，应停止使用。

3.2 钨极在施焊前应修磨成如图所示的形状：



3.3 钨极氩弧焊电源采用直流正接。

3.4 板材焊接时应尽可能在平焊位置，管材焊接时尽量采用转动焊。

3.5 当母材温度低于 15℃时，应对母材进行预热，预热温度为 20℃左右，焊接时层间温度应控制在 100℃以下。

3.6 钨极氩弧焊采用高频引弧和熄弧电流衰减措施，注意引弧和收弧质量，收弧时应将弧坑填满，多层焊的层间接头应错开。

3.7 保护装置及拖罩的结构和尺寸应根据接头形式和构件尺寸确定。用导热性能较好的材料制成，形状宜与焊件边缘相似并能够贴近焊件表面。

3.8 应用独立的气路提供各区域的保护气体，保护气输送时应保持均匀，非紊流并不相互干扰，气路中不允许残留水分和任何泄露，气路管道不允许采用橡胶管或其他吸潮材料管子。

3.9 引弧前，喷嘴及正、反面保护装置拖罩应提前送气，排除气路及保护装置拖罩内的空气和吸附的潮气，熄弧后喷嘴及正、反面保护装置拖罩应继续送气，直到焊缝和热影响区冷却到 300℃以下为止。

3.10 焊接过程中，焊丝加热端应始终在氩气保护区内，如接触到空气应立即停止焊接，切除焊丝端部至少 25mm 后，才能继续施焊。

3.11 当焊道表面出现变色时，应立即停止焊接，查明原因并采取措施，经检验合格后方可进行焊接，轻微的表面变色可用不锈钢丝刷清除，对污染严重的焊缝必须铲除干净，并

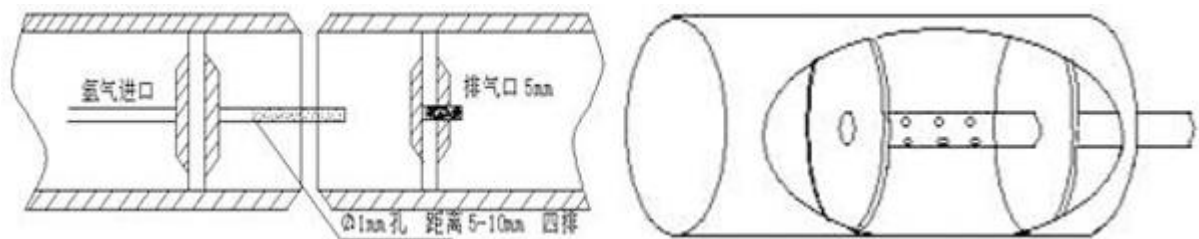
进行必要的修复方可进行下一步焊接工作。

3.12 焊接过程中，若钨极碰触焊丝或焊缝，应停止焊接，铲除污染的焊肉、修磨或更换钨极。

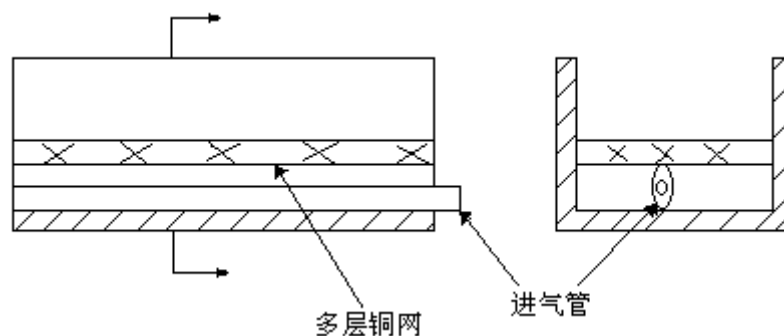
3.13 若需双面焊接时，应采用机械方法清除焊根，直至显露出没有任何缺陷的焊缝金属。

4、焊缝背面及焊接区域高于 300℃ 以上的部位保护的方式

4.1 管道焊缝背面气体保护一般采用管堵造成密闭气室，管堵应留有进气孔和出气孔，以便进气和排气，管堵应与内壁贴合无缝隙，并尽量将焊接时高于 300℃ 区域焊缝区域全部包括，具体形式见下图：

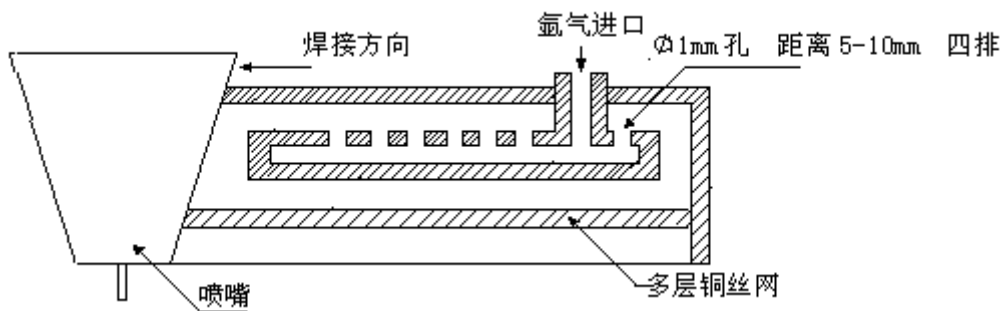


4.2 板对接焊缝背面气体保护采用垫板，具体结构形式见下图：



4.3 焊缝后拖保护装置

焊缝后拖保护一般采用拖罩，小型轻便拖罩可以和焊枪连在一起，焊接时可以直接起到保护作用，也可由另外一个人单独手持拖罩跟踪操作保护，拖罩应由导热性能好的材料制成，如铜、铝等，拖罩的形状、尺寸、曲率半径应根据管径、焊口形式制作，不得有缝隙，四周应圆滑。必要时罩内可增加通水冷却散热，具体形式见下图：



5、质量检验

钎焊缝可采用液体渗透探伤、X 射线进行检验，应没有裂纹、咬边、未焊透和超标的气孔存在。

暴露在空气中的钎，在不同的温度下，表面将形成 ZrO 或 $Zr_{2}O_{3}$ 或 ZrO_{2} 等氧化膜，从而呈现不同的表面颜色，如表面形成氧化膜很薄，用不锈钢丝刷清除即可，对性能影响不大。从深蓝色到灰白或白粉末状则表明焊缝金属受到严重的污染，必须全部铲掉焊缝金属和临近的母材。

检验焊缝是否受到污染的另一个方法是测量焊缝的表面硬度。当焊缝硬度比母材硬度高 30HB (5HRB)，无论焊缝表面颜色如何，都认为焊缝已经受到严重的污染。

对于焊缝的返修，应在返修前用机械方法清除缺陷，并用目视和液体渗透检查确保缺陷消除干净，返修的焊接要求要与上述的要求一致。返修的部位应重新进行规定的检验。同一部位的返修次数不宜超过两次，如超过两次应征得技术人员的同意。



脉冲气保焊机 TDN 5000MY、交直流方波焊机 WSE-315

总结

在我国，锆在化工生产中的应用正在逐步扩大，另外对于锆的加工来说，锆易于加工且延展性比较好，不易于被其它金属所污染，随着生产效益、经济效益的不断提高，锆在我国化工行业中应用的前景将更加广阔。只是对于在焊接上来说，对焊工的素质要求较高，从目前的对于锆材的焊接工艺上来说因为基本是采用的氩弧焊接。所以功效较低，焊接质量相对机械焊，人为因素影响很大，质量不够稳定。相对于国外可能还显落后，今后争取研究一些新的焊接工艺，在工厂预制的条件下，先考虑采用先进的设备，开展自动、半自动钨极惰性气体保护焊或等离子弧焊、熔化极气体保护焊等高效的焊接技术的研究，加快国内新材料大规模工业应用的步伐。

来源：内部稿件