



GIS铝合金壳体的TIG焊焊接工艺及常见缺陷的成因概述

赵忠刚 郭玉明 张凤英

【摘要】 本文主要论述了GIS壳体执行TIG焊的工艺过程细节和各类注意事项，并总结了该类焊接的各种缺陷及成因，对于指导该类壳体的TIG焊方面有较好的促进作用。

关键词： TIG焊；铝合金；GIS壳体；焊接工艺；焊接缺陷及成因

1. 概述

目前国内GIS壳体多数为厚度6~12mm的Al-Mg类板材卷焊后铆焊法兰及其他附件的组焊结构，在焊接该类壳体时离不开TIG（氩弧焊）焊，国内许多制造厂家在TIG焊方面是大同小异、各存优劣。笔者经过长时间探索和走访交流，总结了一套较为实用的该类壳体的TIG焊焊接工艺，并在业内取得了较好的效果。与此同时，还总结了该类壳体的TIG焊焊接缺陷及成因，对于其焊接质量的提升起到了有力的促进作用。现总结如下，以与同仁互通，携手并进，进一步提高我国GIS壳体的焊接效率和质量。

2. TIG焊工艺

(1) 焊材的选择 我国在应用TIG焊焊接铝合金时多采用铈钨作电极，其发射X射线剂量较小，抗氧化性较钍钨有明显改善；易于引弧，最低引弧电流为8A，引弧长度为10mm；化学稳

定性好，且允许的电流密度大，烧损率低。焊接保护气体为纯度99.99%的氩气。

交流TIG焊时，钨极端部应呈半球形（制法：先将钨极端部磨成圆锥形，然后垂直夹持钨极，用大于使用电流20A的电流进行焊接几秒钟即可获得）；直流正接TIG焊时，钨极端部应磨成 $60^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 的圆锥，以便在焊接过程中获得最大的熔深。

(2) 焊前对母材和焊丝的制备 焊前必须对母材焊道及其周围50mm内进行清理，一般用 $\phi 0.15\text{mm}$ 的不锈钢丝刷或刮刀清理其上的油污和氧化膜，必须使母材露出原始金属光泽。另外，对焊丝也要进行清理。其清洗方法参照铝及铝合金化学清洗法（见表4）进行。必须注意焊件和焊丝在清洗后到焊接前的存放时间尽量缩短，在气候潮湿的环境里不得超过4~8h，在气候干燥的环境里也不得超过24h否则需要重新清洗。对于表面抛光的焊

材无需进行焊前清理或清洗。在用砂轮或砂布对焊材打磨后必须再用不锈钢丝刷或化学法进行清理其表面，防止沙粒导致焊缝出现夹渣的缺陷。

(3) 壳体焊件的装配 壳体铆接件的接头形式和装配间隙参照表2执行，为增加焊缝强度和确保焊缝熔合及焊透，坡口角度只能加大而不能减小。其夹持力以一般以100mm长度有35kg左右的均匀夹紧力为好，这样既克服焊接过程中焊件的位移，又能防止焊件因拘束度过大而导致焊缝的开裂。

需注意：在焊接筒体对接的纵缝时，可适当增大预留的对接间隙，以便纵缝有较适宜的横向收缩的余地，防止筒体焊后在焊缝侧因收缩而引起的“急弯”变形现象；装配法兰时须留好一定的反变形余量，以防止焊成品的机械加工余量的不足；纵缝铆点必须牢固，且不得间距过大（特别是在琴键式焊机焊接），防

表1 铝及铝合金化学清洗法

焊丝 工序	除油	碱洗			冲洗	中和光化			冲洗	干燥
		溶液 (体积分数)	温度 /℃	时间 /min		溶液 (体积分数)	温度 /℃	时间 /min		
铝镁 合金	汽油、丙酮、四氯化碳、磷酸三钠	6%~10% NaOH	40~60	5~8	流动清水	30% HNO ₃	室温	1~3	流动清水	风干或低温干燥

止焊接过程中因焊接区域温度较高引起母材的塌陷而造成焊缝的错边；对于扩孔和拔口部位的铆点更需注意加密，以防止焊接过程中母材受热变软而导致残余应力诱发收缩变形（焊接铆接法兰及扩孔和拔口部位的焊缝时须先焊接内焊缝），对于确实无法消除的变形必须在装配时增加撑筋。

（4）装配后的焊接 首先，钨极交流手工氩弧焊参数（见表3、表4）：焊前须检查焊接设备、供气、供水、喷嘴、钨极的状态，引弧前需提前5~10s送气，且引弧和熄弧必须在引弧板和熄弧板上进行。

定位焊的部位通常置于双面焊正面坡口的背面，单面焊在坡口内进行，但须去除定位焊缝的多余部分。定位焊必须焊透，且无气孔、裂纹、未熔合等缺陷，否则需铲除重焊。为保证焊透，电弧在引弧点须稍作停留，待母材熔化并形成熔池后再填丝运行。环形定位焊应先从定位间隙最大处始焊，然后对称焊接其他部位。

焊接对接焊缝时焊枪须后倾，并与已焊缝夹角呈70°~85°状态，焊丝与未焊缝呈10°~15°状态，钨极伸出长度为5~6mm。焊接角焊缝时，焊枪在保持上述状态的前提下还需

与底板的夹角呈45°~60°的状态，钨极伸出长度为7~8mm，喷嘴距离工件8~12mm。

注意：送丝时防止焊丝与钨极接触，以免焊丝污染钨极；填丝位置一般在熔池前缘；送丝回撤时不要使焊丝热端退出气体保护区，以免焊丝热端氧化。焊接过程中应保持稳定的短弧，以便获得较大的熔深和防止咬边。双面焊时，打底焊必须焊透，可不填丝，随后需填丝时可增大焊接热输入进行焊接，焊接反面封底焊前必须对打底焊缝根部进行

清根，开坡口或不开坡口；对接焊的焊缝须高于母材且与母材圆滑过渡；熄弧时不要留弧坑，防止发生弧坑裂纹，通常采用衰减熄弧法和堆高熄弧法，且在熄弧后应继续对焊缝送气5~15s。

其次，钨极交流自动氩弧焊参数（见表5）：焊前检查同上，装配质量要求较高。焊接时，钨极尖端与工件之间的距离保持在0.8~2mm。

3. 常见焊接缺陷及成因

（1）气孔 成因：焊件和焊丝焊前清理不彻底或清理后待焊时间过长或重新污染；供气系统不干燥或漏气；厚大焊件未预热；焊件速度过高；多层多道焊件的层间清理不彻底；焊接时气体保护不良；母材或焊丝的材质含氢量过高；焊接区域有较大的侧风；焊接环境湿度偏大；保护

表2 TIG焊接头形式及坡口尺寸

接头坡口形式		钎接间隙/mm	钝边厚度/mm	坡口角度(°)
对接接头	I形	0.5~2	—	—
	V形	2~3	2~3	65~70
	X形	1.5~3	2~4	65~70
角接头	I形	<1	—	—
	V形	1~2	1~2	65~70
T形接头	I形	<1.5	—	—
	K形		1~2	65~70

表3 GIS壳体常见板材手工交流TIG氩弧焊参数

板厚/mm	焊丝直径/mm	钨极直径与伸长/mm	预热温度/℃	焊接电流/A	氩气流量/L·min ⁻¹	喷嘴孔径/mm	焊接层数(正面/反面)	备注
6	4	5	—	240~280	16~20	14~16	1~2/1	V形坡口对接
8	4~5	5	100	260~320	16~20	14~16	2/1	
10	4~5	5	100~150	280~340	16~20	14~16	3~4/1~2	
12	4~5	5~6	150~200	300~360	18~22	16~20	3~4/1~2	

表4 GIS壳体常见板材手工直流TIG氩弧焊参数

板厚 /mm	电极直径 /mm	钨极伸出 长度/mm			直流电流/A	
			喷嘴孔径 /mm	气体流量 /L·min ⁻¹	正接 (电极-)	反接 (电极+)
6~10	4	4~5	13~15	15~19	350~480	35~50
8~12	5	5~6	15~20	19~22	500~675	50~70

表5 交流TIG自动氩弧焊参数

焊件厚度 /mm	焊接层数	钨极直径 /mm	焊丝直径 /mm	喷嘴孔径 /mm	氩气流量 /L·min ⁻¹	焊接电流 /A	送丝速度 /m·h ⁻¹
6~8	2~3	5~6	3	14~18	18~24	280~320	75~80
8~12	2~3	6	3~4	14~18	18~24	300~340	80~85

气体纯度低；坡口夹角偏小导致焊缝未焊透而存在空隙，致使后续焊接过程中空隙内的气体发生膨胀而引发熔池含气；喷嘴规格偏大或距离熔池太远；钨极与喷嘴不同心；电弧不稳、过长，钨极伸出过长；截面积较大焊缝的焊道单一，熔池偏大导致气体未完全排出；保护气体流量过大。

(2) 裂纹 成因：母材的焊接性不良；焊丝抗热裂性差；拘束度过大；热输入过大；焊接速度过高；定位焊点存在裂纹；焊件间隙过大；焊缝中的镁含量小于3%，或铁、硅杂质含量超出规定时，裂纹倾向增大；焊丝的熔化温度偏高引起热影响区液化裂纹；结构设计不合理，焊缝过于集中或受热区温度过高，造成接头拘束应力过大；电极停留时间长，组织过热；弧坑没填满而出现弧坑裂纹。

(3) 咬边 成因：弧长过大；电流过大；焊枪倾角不合适；电弧横向摆动时在坡口边缘停留时间短；电弧电压太高；焊炬摆幅不均匀；填丝太少；焊接速度太快。

(4) 未焊透 成因：坡口夹角偏小；背面清根不彻底；电流偏小；弧长过大；焊接速度过高；焊接时焊枪摆动过急；电极被铝污染；坡口焊时钨极尖角过大；钝边偏大；焊件间隙、坡口角度、焊接电流均过小；焊件边缘的毛刺、底边的污垢焊前没有

除净；焊枪与焊丝倾角不正确；点焊点存在未焊透隐患。

(5) 未熔合 成因：母材表面氧化层未清理彻底；坡口夹角偏小；弧长过大或焊枪倾角不合适；焊件或焊丝表面不清洁；焊接电流过小；焊接速度过高；下坡焊。

(6) 焊道尺寸不合格 成因：焊接参数不合适；人员操作不当；焊接方式不合理；送丝速度和焊接速度与焊件间隙不匹配；电弧不稳定；MIG焊时焊材清理不彻底引起的弧长瞬间过大；焊接速度过大易导致焊缝表面出现驼峰现象；保护气体流量过大导致铝液翻腾引起焊缝起皱。

(7) 焊缝夹钨 成因：钨极过热熔化合；钨极接触熔池或母材；焊接参数不合适；电极材料选用不当；钨极尖端烧损后未及时做好修磨；钨极直径偏小；钨极末端形状与焊接电流选择不合理，使尖端脱落；填丝触及到热钨极尖端和错用氧化性气体。

(8) 焊缝向母材急剧过渡 成因：焊缝反面垫板凹槽形状及尺寸不正确（不得采用矩形凹槽）；操作人员操作不当。

(9) 焊缝夹渣 成因：焊件或焊丝表面清理不彻底或清理后待焊时间过长或发生新的污染；喷嘴不清洁致使焊接过程中渣子脱落到熔池中。

(10) 焊件塌陷或错边 成因：点焊点开裂或点焊点距离过

大；存在内应力的焊缝未添加撑筋；焊接温度过高；焊接速度偏低；电极发生偏移导致焊缝两侧母材受热不均度误差较大。

(11) 淌瘤 成因：下坡焊；焊接电流过大；焊接速度偏低；操作方式不当。

(12) 焊缝发黑 成因：钨极与焊件接触；保护气体保护效果不良。

(13) 焊缝直线度较差 成因：操作者操作不稳；自动焊的焊丝排出时发生旋拧现象（焊丝盘旋时因旋拧而导致焊丝存在内应力）；喷嘴内有干扰焊丝的渣子；焊件在焊接过程中发生了移动。

(14) 焊缝被划伤 成因：喷嘴与熔池接触。

(15) 焊缝表面鱼鳞纹台阶距离较大且落差严重 成因：送丝较慢，不够频繁合理；焊接手法不合适，未做好电极对焊接区域的“回热”处理。

(16) 焊件变形较大 成因：焊接顺序不合理；焊件接头形式不合理；焊接电流偏高；未采取反变形和防止变形的措施。

4. 结语

该文详细论述了GIS壳体在应用TIG焊焊接过程中的工艺步骤和相关参数，并总结了该类焊接所发生过的缺陷及成因，对实际生产具有一定的指导意义，值得推广参考。

作者简介：赵忠刚，泰安鑫杰机械有限公司；郭玉明，山东电工电气日立高压开关有限公司；张凤英，济南市大秦机电设备有限公司。 MW 20170724