铝合金车体用6005A—T6焊接气孔的防止

南车南京浦镇车辆有限公司 （江苏南京 210031） 葛怀普 金文涛

【摘要】研究了城轨车辆铝合金车体用6005A—T6在MIG焊接生产过程中气孔产生的原因，总结并分析了其对气孔的敏感性及焊接工艺方法和保护气体对铝合金焊缝中气孔的影响，最后提出了防止措施。结果表明：在实际生产中主要采取提高保护气体纯度、保护气中增加He气含量的比例、焊前烘烤等手段来防止焊缝气孔，此外增加工艺垫板、控制焊接参数、改善焊接手法等对减少焊缝气孔也有一定的帮助。

1. 概述

6005A—T6铝合金（AlMgSi合金，见附表）以其优质的焊接性、良好的耐腐蚀性和优良的挤压性能被挤压成各种截面的中空铝型材，并广泛应用于城轨车辆铝合金车体各部件。随着6005A—T6挤压型材在铝合金车体上的比例不断增加，各机车车辆制造企业中，普遍采用MIG焊接工艺焊接6005A—T6，其优质的焊接工艺虽得到了证实，但焊接中的气孔仍然是最常见也是最难控制的缺陷之一。

6005A—T6化学成分（质量分数） （%）

合金	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr
6005A	0.5～0.9	0.35	0.3	0.5	0.4～0.7	0.3

Zn	备注	Ti	其他		Al至少
			单个	总和	
0.2	（0.12～0.5）Mn+Cr	0.1	0.05	0.15	剩余

6005A—T6在空气中及焊接时极易氧化，生成的氧化膜（Al_2O_3、MgO等）极易吸收水分且性能稳定，不易去除，易使焊缝产生气孔。在6005A—T6的MIG焊中，要彻底消除焊缝中的气孔是很难做到的，只能是最大限度地减少其数量。按其种类，铝焊缝中的气孔主要有表面气孔、弥散气孔、局部密集气孔、单个大气孔、根部链状气孔及柱状气孔等。气孔不但会降低焊缝的致密性，减小接头的承载面积，特别是密集气孔和链状气孔的存在，有可能导致裂纹和材质疏松，从而降低材料的力学性能、耐腐蚀性能，因此必须加以防止。

2. 气孔产生的原因

氢是铝及其合金熔焊时产生气孔的主要原因，氢的来源主要是弧柱气氛中的水分、焊接材料以及母材所吸附的水分，其中焊丝及母材表面氧化膜的吸附水分对焊缝气孔的产生有重要的影响。弧柱空间或多或少存在一定量的水分，尤其在潮湿季节或湿度大的地区进行焊接时，由弧柱气氛中水分分解而来的氢，溶入过热的熔融金属中，凝固时来不及析出成为焊缝气孔。这时所形成的气孔具有白亮内壁特征；在正常的焊接条件下，指的是相对湿度较低（70%以下）时，焊接材料或工件氧化膜中所吸附的水分是形成焊缝气孔的主要原因。氧化膜的致密性越差，则形成气孔的倾向性越强。这也是Al-Mg合金焊缝容易产生气孔的原因。

3. 防止焊缝产生气孔的途径

防止焊缝中的气孔主要从两方面着手：一是限制氢溶入熔融金属，或者说是减少氢的来源；二是尽量促使氢从熔池逸出，即在熔池凝固之前使氢以气泡形式及时排出。

（1）焊前清理 是防治焊缝气孔的一个重要的工艺措施。众所周知，由于铝及铝合金极易氧化，表面生成一层致密而坚硬的氧化膜，该薄膜很容易吸收水分，它不仅妨碍焊缝的良好熔合，而且是生成气孔和夹渣的根源之一。此外，如工件表面被油

污、锈、垢污染后，也会引起气孔等缺陷。为了尽量地降低焊缝产生气孔的几率，焊前要采取严格的清理措施，彻底清除焊丝和焊接接头上的氧化膜和油污。通常的做法是先用汽油、酒精、丙酮等有机溶剂擦拭表面以除油，然后用不锈钢丝刷把焊缝两侧50mm范围内的氧化膜刷除干净，露出金属光泽。不可采用砂纸或砂轮打磨，因为铝及铝合金材质较软，在打磨过程中砂粒可能被压入母材内，在焊接时会产生缺陷。经机械清理之后，在焊件待焊处端面及正背面还要用丙酮或酒精等擦洗，以清除残存的氧化膜、油污或其他杂质。

工件经过清理后，最好能及时施焊，因为在存放过程中又会重新生成氧化膜，所以在清理完毕到焊前的时间间隔应尽量短，最多不超过4h，超过规定时间，需要重新清理，生产场地相对湿度大时，上述的清理要求尤其要认真对待。

（2）提高保护气体中He含量　在相同条件下，对于采用99.99%的纯氩保护气和采用30%的氩气和70%的氦气所组成的混合保护气所施焊工件进行断口试验（样件共计60副，每种保护气各30副），结果如图1、图2所示。

图1　纯氩保护气施焊工件

图2　混合保护气施焊工件

结果表明，使用混合保护气施焊的工件产生气孔数量明显少于纯氩保护气施焊工件。这是因为氦气也是惰性气体，但在焊接过程中，吸热小，熔池停留时间长，有利于气孔的逸出，因此保护气中增加氦气后气孔倾向减小。但是由于氦气属于轻气体，密度比空气小，且电弧稳定性差、短路过渡形式，故一般不单独使用。使用氩氦混合气体的优势在于它综合了两种保护气体的优点，即氩气的电弧稳定、能形成射流过渡、保护效果好以及氦气的热输入量大、抗气孔能力强。实际生产中考虑到增加氦气含量后成本的增加，而一般情况下采用99.999%高纯氩气也可以得到满足使用要求的焊缝，因此除了焊缝性能要求较高的CPC1及以上级别采用混合保护气外，其余大部分均使用99.999%高纯氩保护气。

（3）焊前烘烤　铝及铝合金焊件如果厚度不大，一般不需要预热，当焊件厚度＞8mm，焊前需要预热处理，一般预热温度70～90℃。需要强调的是，此处的烘烤工艺不同于预热处理，一般预热处理的目的，一是为了消除焊接区金属表面的湿气，二是用缓慢加热和缓慢冷却的方式来减少焊件的温度差。从而减少焊接变形、未焊透、气孔、裂纹等倾向。而烘烤处理不仅适用于厚板，更主要是应用于薄板焊接，主要目的是减少弧柱气氛中的水分，进而降低焊缝产生气孔的几率。

在焊接条件相同的情况下，针对不同的空气相对湿度，对于焊接试件采用烘烤处理与不采用烘烤处理，抽取20个试样做气孔缺陷评定，结果如图3所示（以射线探伤评片结果合格数量表示）。

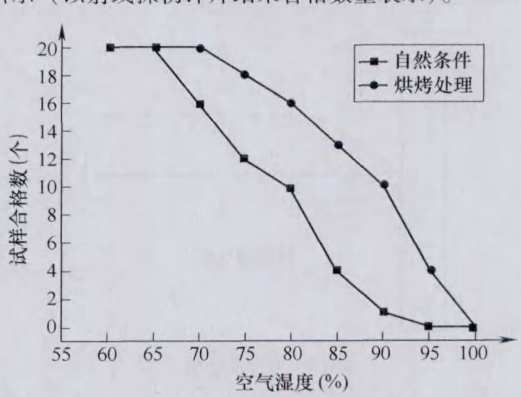

图3　不同空气湿度下气孔缺陷评定合格试样数量

注：气孔的缺陷评定等级以B级最优，D级最差，图示以C级判定合格。

结果表明，空气相对湿度在65%以下时焊接，

焊接试板 X 射线拍片可达 B 级以上要求。但超过 70% 时，焊缝出现均匀分布的气孔，X 射线拍片检查出现不合格焊缝，而空气相对湿度超过 80% 时，如果不采取烘烤处理，则气孔缺陷判定试样合格率低于 50%，严重影响焊缝质量。需要注意的是烘烤时间不宜太长，否则会降低铝及铝合金的焊接强度，也会削弱其抗腐蚀性能。烘烤的方法可采用氧乙炔火焰或电热吹风机。烘烤区域为焊缝两侧各 150mm 左右，烘烤程度以去除表面湿气为宜，具体操作方法可参考如下步骤（以电热吹风机烘烤为例）。

对长度 <500mm 的焊缝，在待焊部位完成清洗、打磨及组装后，采用电热吹风机对焊缝两侧进行加热，枪口距离母材高度 20 ~ 30mm，烘烤时间 3 ~ 5min（对母材板厚 >8mm 的，由于焊前需要预热处理，预热处理后不需要再烘烤）；对焊缝长度 > 500mm 的焊缝，进行分段烘烤，每段长 300 ~ 400mm。多层多道焊时，只需要对第一层进行烘烤，烘烤完成后，再引用焊接卡片中的焊接参数施焊。

（4）增加工艺垫板　铝及铝合金在高温时的强度较低，这样在焊接时容易使焊缝塌陷或焊穿。为了保证焊透而又不致使焊缝塌陷，在实际焊接中常常采用某些形式的垫板来托住金属。当焊缝间隙 > 1.5mm 时，需增加垫板且以带成形槽垫板为佳。下面以实际生产中难度较大的带斜边单边 V 形角接接头为例（见图 4）垫板表面正对焊缝处开一个圆弧形槽，这样可以在保证焊缝背面成形良好的情况下改善焊缝背面的保护效果，更好地防止空气中水蒸气的侵入，进而得到高质量焊缝。

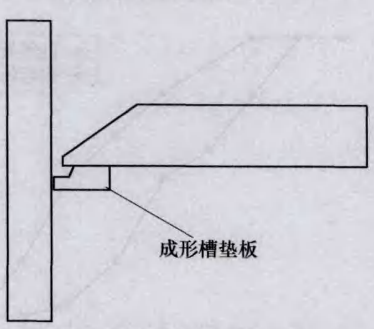

图 4　成形槽垫板

（5）其他　除上述几种方式控制焊缝气孔数量外，通常还会采用控制焊接参数、焊接手法等方法。焊接参数和焊接手法的影响可归结为对熔池高温存在时间的影响，也就是对氢气析出时间的影响，在保证焊缝根部熔合的前提下，适当的降低焊接电流，减小焊接速度，同时配合直线往复的焊接手法，以达到搅拌熔池，增加液态金属停留时间的目的，更有利于气孔的逸出。

4. 结语

（1）焊接保护气中增加氦气后产生气孔的倾向减小。

（2）空气湿度超过 70% 时，采取焊前烘烤处理，可显著减少焊缝气孔量。

（3）增加带成形槽工艺垫板，有利于降低焊缝背面气孔量。

（4）采用控制焊接参数、焊接手法来增加熔池停留时间，对降低焊缝气孔数量有利。**MW**

（20120513）

《金属加工（冷加工）》
2012 年第 14 期要目

矿用圆环链轮链窝加工工艺改进
骑缝孔加工工艺改进
车床在加工滤水管割缝方面的应用
两种内孔倒角工艺
精密深孔磨夹具的设计应用
简易平衡套解决长薄壁管材车削振颤问题
铸件不规则毛坯自动调节压紧装置的设计与应用
近似法加工在高速动车组中的应用
轴承套加工的组合刀具解决方案
复杂深孔的高效加工方法
冷冲模双向引伸模设计和注塑模超前二级脱模机构的脱模条件
绝缘盖板注塑模具型芯装配工艺改进
LOOKAHEAD 功能的研究与应用
刀具破损识系统在 Sinumerik 840D 操作系统的卧式加工中心上的应用
提高 TQP6511 卧式铣镗床主轴回转精度加工及装配
改变定位元件的固定形式可减少定位误差的实例
在零件设计中应用拓扑优化节约原材料
CAGD 在尺寸链计算上的应用
轴承套圈超精机摆头改造
重型床身导轨磨削波纹及对策
数控车床四工位电动刀架的维修