

# 5A06 铝合金管焊接裂纹分析

陈莉 许恒庭 沈燕萍

(上海航天精密研究所, 上海 201600)



**摘要:** 某产品用 5A06 铝合金管焊接件在阳极化处理后, 检查发现裂纹。本文采用扫描电子显微镜 (SEM)、能谱分析仪 (EDS)、光学显微镜等对裂纹进行分析。研究发现, 裂纹发生于熔合线附近的热影响区, 该区域晶界上存在 Mg 的低熔点共晶物, 这些共晶物聚集形成链状组织, 弱化晶界, 在焊接应力的作用下表现为裂纹。通过严格把握焊缝设计和优化工艺参数, 有助于减少热影响区裂纹的倾向。

**关键词:** 5A06 铝合金; 热影响区; 低熔点共晶物

## Analysis of 5A06 Aluminum Alloy Pipe Welding Joint Crack

Chen Li Xu Hengting Shen Yanping

(Shanghai Spaceflight Precision Machinery Institute, Shanghai 201600)

**Abstract:** A certain product of 5A06 aluminum alloy pipe welding joint were cracked after anodic oxidation. In this paper, the causes of welding crack were analyzed by means of SEM, EDS and OM. It was observed that the crackle initiated in the heat-affected zone nearby the fusion line where low-melting point eutectics exist. The chain organization finally happens, weakens grain-boundary, and finally shows as crackle under the effect of welding. The technic and process control methods are proposed to improve the crackle effect of heat-affected zone.

**Key words:** 5A06 aluminum alloy; heat-affected zone; low-melting point eutectics

### 1 引言

5A06 铝合金为 Al-Mg 系防锈铝<sup>[1]</sup>, 是非热处理强化铝合金, 具有较高的强度、腐蚀稳定性<sup>[2, 3]</sup>, 在退火态下有良好的塑性和焊接性能等特点<sup>[4, 5]</sup>, 阳极化处理后表面美观, 广泛应用于船舶、汽车、航空航天等领域<sup>[6, 7]</sup>。但是在焊接过程中, 易出现氧化、气孔、热裂纹、烧穿和塌陷等问题<sup>[8~10]</sup>, 严重影响焊接构件的使用性能。

某产品的某部件是由 5A06 铝合金焊接而成, 在焊接、阳极化处理过程后, 检查发现裂纹。该焊接件“T”形焊缝是由铝管纵向拼接, 再与铝锻件横向焊接而成的组合件。铝管和铝锻件基体材料均为 5A06 铝合金, 均采用手工氩弧焊连接。

### 2 检验与结果

#### 2.1 化学成分分析

对焊裂件周围母材取样进行化学成分分析, 结果如表 1。

表 1 焊裂件化学成分分析结果 %

主要元素	Mg	Mn	Ti
实测值	6.5	0.61	0.06
标准值	5.8~6.8	0.50~0.80	0.02~0.10

由表中数据可见, 材料的化学成分符合标准要求<sup>[1]</sup>。

#### 2.2 断口及组织分析

##### 2.2.1 宏观断口分析

裂纹出现在“T”形焊接件纵向焊缝和基体材料的交界处, 由多条短裂纹断续连接而成, 尾端尖而细,

裂纹主要分布于焊缝两侧，并延伸扩展至焊缝中心。裂纹的扩张方向与焊缝方向基本一致，即为纵向裂纹。裂纹外观形貌见图 1。裂纹背面形貌见图 2。

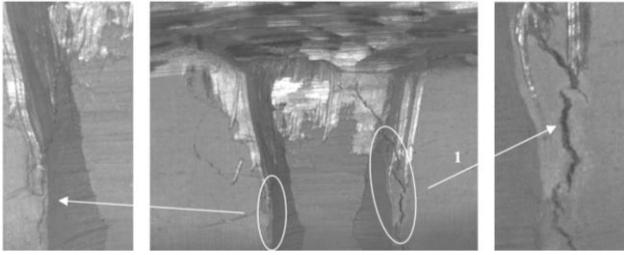


图 1 裂纹正面形貌 (纵缝内表面)

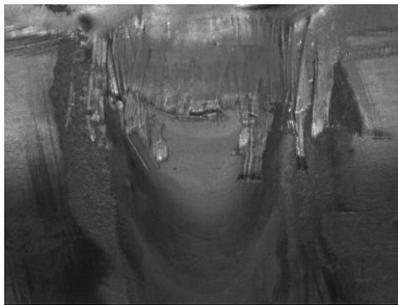


图 2 裂纹背面形貌 (纵缝外表面)

将图 1 箭头 1 所指处的一条短裂纹人为打开，其断口宏观形貌见图 3。灰暗断口是已断裂部位，较亮断口是人为断口。可见，裂纹断面已被污染，呈暗灰色，人为打开区域干净，具有正常的金属光泽，整个

断面上组织无其它目视缺陷。从图 3 裂纹断面情况可看出：被污染的断面贯穿于铝合金管壁，判断该裂纹是一条穿透性裂纹；裂纹断面上晶粒粗大，人为打开断面晶粒细小均匀。

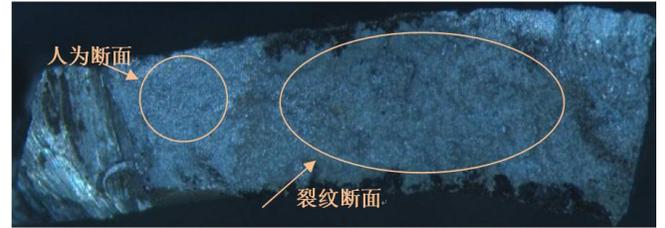


图 3 裂纹断口宏观形貌

### 2.2.2 微观断口分析

扫描电镜观察该处断口：图 4 为裂纹断面微观形貌。晶界面棱角变宽，晶粒表面圆滑，晶界有熔化特征，晶间存在微裂纹，断面上有腐蚀痕迹。图 5 为人为打开断面的微观形貌，呈韧窝断裂特征。从裂纹断面和人为断面上的能谱分析结果可以看出，人为断面上主要有 Al、Mg 元素，裂纹断面上除了 Al、Mg，还存在非基体元素。能谱分析见表 2。可知，腐蚀产物中有 S、O、Cr 等元素，基本可以确定为阳极化产物。

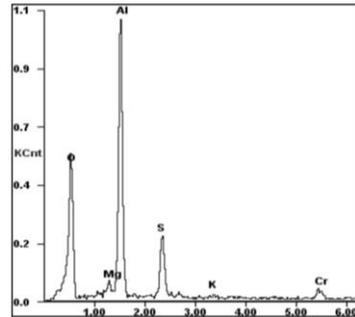
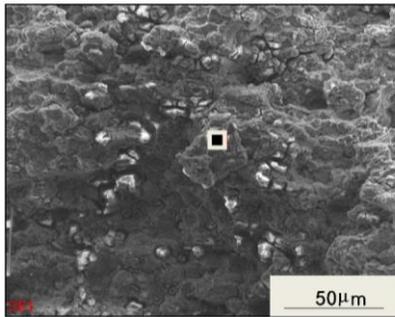


图 4 裂纹断口 SEM 形貌及 EDS 能谱分析

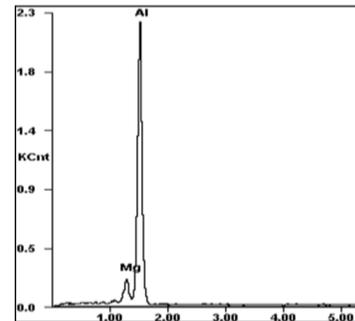
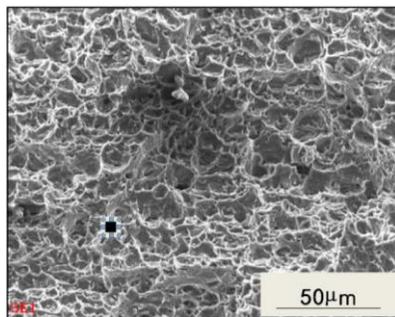


图 5 人为打开处的断口 SEM 形貌及 EDS 能谱分析

表2 裂纹断面上定点能谱分析结果

元素	O	Mg	Al	S	K	Cr
Wt%	44.38	1.77	37.85	10.67	0.63	4.69
At%	59.16	1.55	29.92	7.10	0.35	1.92

### 2.2.3 金相组织检验分析



图6 焊缝接头低倍组织

从垂直于纵缝裂纹处截取横向金相试样，在体视

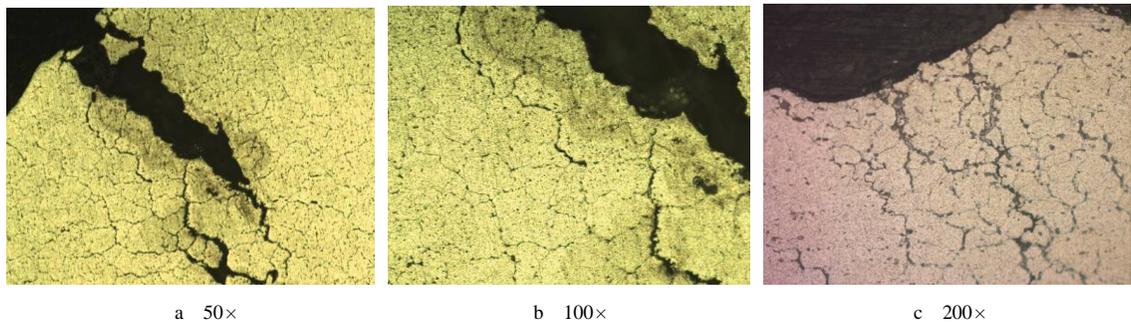


图7 裂纹处显微组织

## 3 裂纹产生原因分析

裂纹的宏、微观断口分析及金相组织观察结果表明：母材的化学成份及组织正常，裂纹的产生与焊缝密切相关；裂纹断面存在阳极化介质元素，因此裂纹产生应在阳极化处理前就已出现；裂纹呈沿晶开裂的特征，晶界上存在较多呈链状分布的化合物，脆性相的存在会弱化晶界，促进裂纹萌生。结合上述特征和分析结果，造成热影响区裂纹的因素主要有以下两方面。

### 3.1 温度对焊缝裂纹的影响

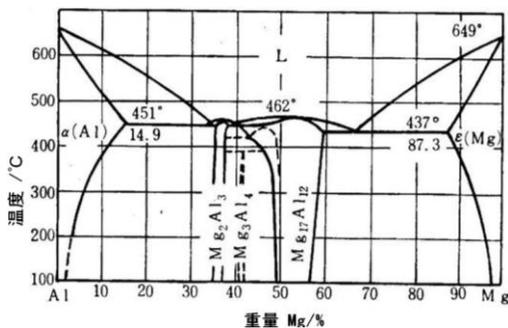


图8 Al-Mg合金相图

显微镜下观察发现，纵缝裂纹发生在焊缝热影响区附近，由焊道背面向焊道面扩展，裂纹的宏观扩展特征如图5所示。从图中还可以看出该焊裂件铝管基体的弧面配合有一定的偏差，焊接接头存在形状缺陷。

对母材和焊缝进行显微组织观察：母材区域金相组织正常，可确定该裂纹不是由母材自身组织缺陷引起，而是与焊缝有紧密联系。裂纹处显微组织见图7a、7b。其组织特征表现为沿晶界扩展开裂。焊缝热影响区为焊缝接头的薄弱区，当裂纹源产生后，在外应力作用下，裂纹沿晶界向前扩展，从图7c中还可以看出，晶界上分布着链状析出相，晶界析出相的存在会使晶界之间的结合力降低。

焊接用铝合金管的基体材料为5A06，铝镁系合金。铝镁合金的相图如图8所示。从Al-Mg相图中可以看出，在451°C时发生共晶反应，生成 $\alpha$ 相（基体相）和 $\beta$ 相（ $Mg_2Al_3$ ），随着温度的升高，还会产生Al-Mg-Si三元共晶化合物、 $Mg_2Si$ -Al共晶化合物。

有研究表明：镁含量超过7%时，合金的塑性降低，焊接性能变坏。5A06基体中Mg含量在5.8%~6.8%之间，在焊接热输入量达到一定限度以上时， $\beta$ 相就会向晶界扩散，在焊接冷凝时富集于晶界上，产生Mg的偏析。当焊接热量使热影响区的温度达到或超过这些共晶温度并保持一定时间，晶界上析出的低熔点Mg的共晶物或脆性相，使晶界弱化，共晶物的存在为裂纹的产生和扩展创造了前提条件。

### 3.2 焊接热应力的影响

铝合金的线性膨胀系数很大，约为钢的2倍，凝固时的体积收缩率达6.5%左右，因此在焊缝与母材的交界处（即热影响区）会存在较大的内应力，焊接热输入量使得低熔点Mg的共晶物析出，此时弱化的晶界就成了应力集中的敏感部位，在热应力和冷收缩

