5A06铝合金油箱氩弧焊热影响区裂纹分析及预防措施

彭 非,楚 浩,杨 兵
(国营江麓机械厂,湖南 湘潭 411100)

摘要:5A06铝合金焊接燃油箱在试车过程中出现漏油,通过对漏油部位焊缝的理化检验,证实该裂纹是由焊接热影响区裂纹引起的,并从成分偏析、温度和应力三个方面分析了5A06铝合金焊接热影响区裂纹的成因,说明该裂纹是由油箱隔板焊接缺陷引起,与母材无关,并提出了焊接工艺的改进方法。

关键词:铝合金;氩弧焊;裂纹;改进方法
中图分类号:TG455 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-2303(2007)07-0034-04

Analysis and preventive of fracture in 5A06 aluminium alloy fuel tank with manual TIG welding technology

PENG Fei,CHU Hao,YANG Bing
(Jianglu Machinery Factory,Xiangtang 411105,China)

Abstract: 5A06 aluminium alloy fuel tank spilled fuel in testing.The authors studied the welding seam in spillage fuel position by metallography technique.The results indicated that crackle was attribute to welding hot infection.The authors analyzed the cause of fracture in 5A06 aluminium alloy fuel tank made by manual TIG welding technology in composition partial separation,temperature and stress.It makes out the crackle has nothing to do with base metal.The authors put forward some prevention measure.

Key words: 5A06 aluminium alloy;TIG welding;crack;prevention measures

0 前言

铝合金具有质量轻、强度高及抗腐蚀等优点,在汽车、船舶、航空航天等领域得到广泛应用。铝合金分为变形铝合金和不可变形铝合金,其中变形铝中的不可热处理强化铝合金(即防锈铝)是用于焊接结构的主要铝合金。防锈铝有5A06、5A02、5A03、5083等种类。其中5A06铝合金密度小、塑性高、弯型性能好,且耐蚀性和焊接性能优良,适合于制作能盛放有一定腐蚀性的容器,故将其作为某车辆燃油箱的材料。

5A06铝合金薄板的焊接常采用手工钨极氩弧焊,由于焊接参数和条件变化,易在焊缝及热影响区中形成各种焊接缺陷。某型号车在试车试验过程中,车上一燃油箱的箱体上出现了一条裂纹,有燃油漏出。在此,通过分析故障,讨论了5A06铝合金焊接热影响区裂纹产生的原因,并提出了焊接工艺的改进方法。

收稿日期:2007-02-15
作者简介:彭 非(1975—),男,湖南娄底人,硕士,主要从事铝合金车体设计和车体焊接的研究工作。

1 焊接工件结构、焊接工艺参数及焊后使用情况

该油箱有关焊接部位结构如图1所示,裂缝在箱体Ⅰ上,其背面有隔板Ⅱ与箱体Ⅰ焊接。箱体Ⅰ和隔板Ⅱ的材质均为5A06,箱体Ⅰ厚度为3 mm,隔板Ⅱ厚度为2 mm。隔板Ⅱ通过断续焊与箱体Ⅰ焊接,焊缝段数为18,每段长度60 mm,焊缝间距80 mm,焊角高2 mm。隔板Ⅱ焊接时卷成“L”形。在焊接完成后,该油箱进行了气密性检验,经过检验合格,安装在车上,在试车时,该油箱漏油,经检查,发现一裂纹,此时该车故障里程为400 km。

在焊接时,该箱体采用手工氩弧焊,焊机型号WP300,焊接电流120~150 A,焊丝型号331,直径

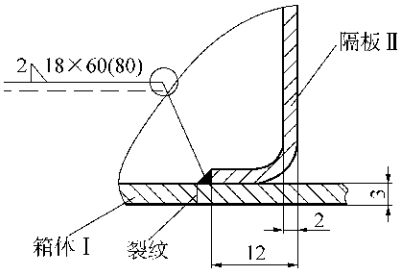


图 1　箱体的断裂部位焊缝示意

φ 3.0,氩气流量 11~15 L/min。

2　理化分析

在将裂纹处的材料从油箱中分离后,对该样品进行了检测,并拍摄了照片,如图 2~图 6 所示。

通过对箱体基体材质的检测,其所含化学成分和力学性能如表 1、表 2、表 3 所示。

表 1　样品基体的化学成分　　%

ω (Fe)	ω (Mn)	ω (Mg)	ω (Ti)	其余
0.23	0.58	6.28	0.046	Al

表 2　5A06 的力学性能

抗拉强度 σ_b/MPa	屈服强度 $\sigma_{P0.2}$/MPa	伸长率 δ /%(50 mm)
≥315	≥155	≥16

注:样品为 5A06 轧制板材,厚度 0.5~4.5 mm。

表 3　5A06 的化学成分　　%

ω (Si)	ω (Fe)	ω (Mn)	ω (Mg)	ω (Ti)	ω (Al)
0.40	0.40	0.50~0.80	5.80~6.80	0.02~0.10	其余

注:样品为 5A06 轧制板材,厚度 0.5~4.5 mm。

通过比较表 1 和表 2、表 3,可见油箱基体的化学成分合乎要求。

3　原因分析

该裂纹在母材上出现,而裂纹的背面是一条焊缝。通过理化检验,母材的化学成分合格,金相组织正常,基本可以确定该裂纹不是由母材自身组织缺陷或成分超差引起,而与焊缝有紧密的联系。通过分析图 2~图 6,认为油箱上的裂纹是焊缝在母材热影响区产生的微裂纹引起的,工作中由于燃油对油箱有很大的冲击力,使母材受到拉力而疲劳,导致宏观裂纹的产生。

图 2 是裂纹的外观图,长约 43 mm,表面有油漆剥落。联系图 1 可知道裂纹的背面是一条焊缝,它用来将隔板焊接在油箱内部。图 3 是隔板与箱体焊接的侧面图,图 4 是焊缝的正面图,也是裂纹的背面图。联系图 3 可以看到右端的焊缝呈鳞片状,均匀

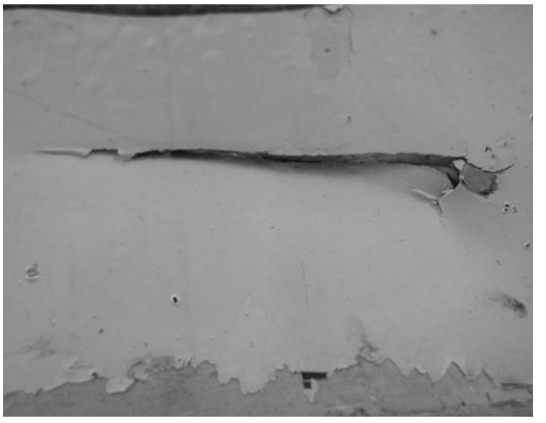


图 2　裂纹外观

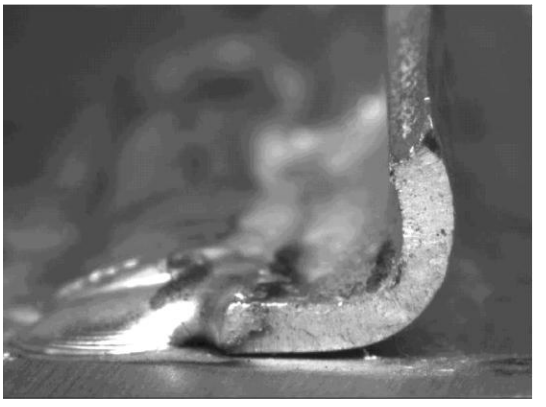


图 3　隔板与箱体焊接的侧面

图 4　裂纹背面

而整齐。图 4 中,从焊缝的中部开始变得不规则,而且有一个凹洞,可能是焊工在这个地方断弧,重新起弧时电极在此停留时间过长,导致熔池过热而产生烧穿现象。左边的焊缝越发不均匀。整个焊缝是右边高,左边低。焊工在焊左边焊缝时焊接时间过长,焊缝及热影响区局部过烧,产生了粗大的过烧组织,使过烧区的力学性能显著下降。油箱装满油,在行驶试验中,在受振动和冲击的作用下,从过烧区首先产生微裂纹,并逐渐扩散为宏观裂纹。在锯开裂纹一

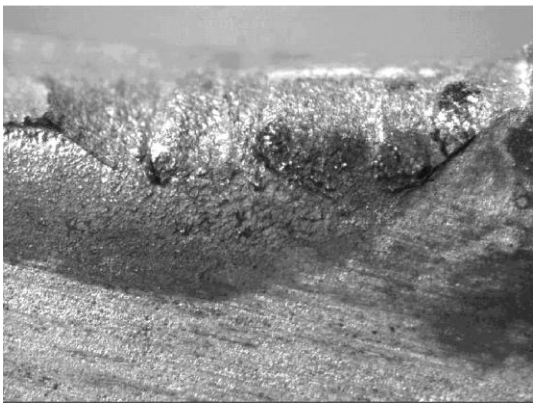


图5 放大的焊缝

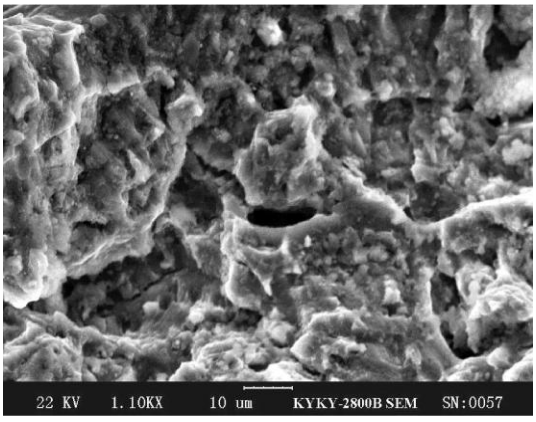


图6 裂纹的组织

侧面板后，观察到裂纹起源于隔板底部的焊缝边缘。图5是过烧处焊缝的放大图，图中可看到白色颗粒状的氧化物和隆起物，说明焊缝表面存在氧化和过烧。图6是经扫描电镜观察在裂纹起源处放大11 000倍的组织图，可以看到孔洞和沿晶裂纹在焊缝处存在，且晶粒变得粗大。

造成热影响区微裂纹的因素大致分为成分偏析、温度、应力三个因素。

3.1 化学成分及成分偏析对热裂纹敏感性的影响

该基体的材料为5A06，主要是铝镁合金，铝镁合金的相图如图7所示，可见在451 ℃时发生如下反应：$L \Leftrightarrow \alpha + \beta\ (Mg_2Al_3)$。

液相(L)通过共晶反应，生成了α 相(基体相)和β 相(Mg_2Al_3)。在焊接加热时，β 相易沿晶界分布，有研究表明β 相富集于焊缝边沿，焊接的热量使其向晶界扩散，在焊接后冷凝时，Mg从液相中析出，增加了晶界Mg的浓度，晶界是最后凝固的。焊接热影响区中Mg的偏析，只有在焊接热输入达到一定限度以上时才会发生。所以焊接时焊枪在某一处停留

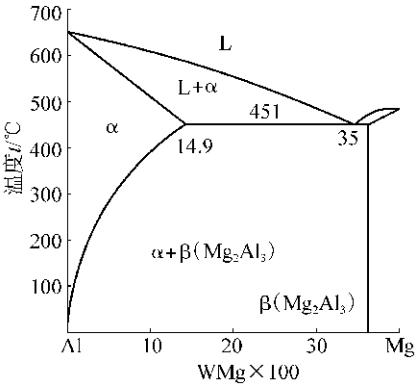


图7 Al-Mg合金相

的时间稍长，就会产生Mg的偏析。铁、硅杂质含量对热裂影响很大，它们在一起会生成高熔点的FeSi化合物，有研究表明当ω(Fe)+ω(Si)为0.6%时，热裂敏感性升高到40%，而5A06工件的Fe+Si量恰在此范围内。还应指出焊丝的化学成分也是影响因素之一。

3.2 温度对热裂纹敏感性的影响

5A06铝合金中含有多种元素，其低熔点物质除有上面提到的β 相(共晶温度为451 ℃)外，还有Al-Mg-Si三元共晶化合物(共晶温度为551 ℃~559 ℃)和Mg_2Si-Al共晶化合物(共晶温度为595 ℃)，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段时间，那么热影响区就具备了产生微裂纹的条件。有人研究了5083(LF4)铝合金(含Mg 4.0%~4.9%)的热影响区裂纹与温度之间的关系后，得出结论：如果焊接热使热影响区的温度达到550 ℃并保持5 s，就会产生部分熔化区域，导致裂纹的形成。5A06与LF4的铝镁含量很接近，且5A06的镁含量略高于LF4，在焊接时更易于生成低熔点共晶化合物。从图3、图4和图5中的过热过烧也可以看出这一点。焊缝加热时间过长是导致本裂纹产生的重要原因。

3.3 应力对热裂纹敏感性的影响

应力的影响主要是焊接热应力，即焊缝的热膨胀和冷却收缩产生的应力。焊接热使晶界上的非金属杂质、低熔点共晶物(如β 相)或脆性相先析出，这些晶界就会成为应力集中和释放的敏感部位。

从本次裂纹产生的原因看，温度的影响占主导因素。在焊接时，成分偏析和应力的影响是不可避免的。由于在焊接时循环加热，母材热影响区的熔融物被反复加热冷却，达到了共晶反应的温度且保持了一段时间，从图5来看，焊缝的晶粒组织变得粗大，

且产生了低熔点共晶化合物,它们分布在晶界处,加上加热冷却的热应力,使微裂纹在晶界处形成,裂纹通常沿晶界分布。在图 6 中可以看到沿晶裂纹。

热影响区裂纹的产生与焊接坡口的角度和焊角高也有关系,图 1 中所注的焊角高 2 mm,与隔板厚度相同,从图 3 和图 4 看,焊角高已超出该数值,可能为 5 mm。造成焊接的热量积聚。

综上所述,由于焊接时循环加热,使得母材金属在局部区域生成了低熔点共晶化合物,它们成为微裂纹产生的源头,在焊接完作气密性检验时,微裂纹还不明显,所以油箱检验合格安装到了车上,但在随后工作应力的作用下,微裂纹逐渐扩展成了宏观裂纹,以致油从中漏出。

4　改进措施

裂纹的产生是焊接热输入量过大,导致低熔点的共晶物在晶界处形成,加上热应力和冷却收缩,使微裂纹在晶界处产生,在长期工作中由于疲劳产生宏观裂纹。为了避免裂纹的产生,建议采用以下措施:

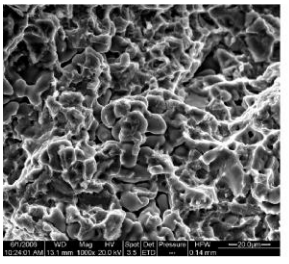
(1)适当减少焊接线能量,严格把握焊脚尺寸,防止焊脚尺寸过大。

(2)减少焊接应力,优化焊接顺序,采用分段焊,对称焊。在该隔板的焊接时,可以先将两头的焊缝焊完,再焊中间部分。

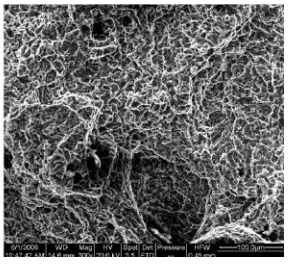
(3)注意手工钨极氩弧焊的起弧和收弧,防止起弧时母材过烧,收弧时熔池过烧。图 4 和图 5 具有明显的过烧特征。

(4)严格清理焊接处母材的氧化物、油污等,保证焊丝的清洁度和环境干燥,母材与焊丝不能有水分,防止水加热分解产生氢气导致氢脆,而氢脆易产生疲劳裂纹。

Page 30



a 质量良好接头



b 有缺陷的接头

图 8　拉伸断口的微观形貌(SEM)

3　结论

(1)采用氦-氩混合气体对 SiC 颗粒增强铝基复合材料进行 TIG 焊,可得到质量优良的焊缝。

(2)最佳焊接工艺参数:焊接电流 60 A,氦-氩混合气体流量 115 mL/s,焊接速度 3.2 mm/s。

(3)SiC 颗粒增强铝基复合材料板材的接头强度可达到母材强度 70%左右,焊件的断裂主要发生在热影响区,断口属于韧-脆混合断裂。

参考文献:

[1] 克莱因 T W,威瑟斯 P J.金属基复合材料导论[M].北京:冶金工业出版社,1996.

[2] 吴人杰.金属基复合材料的现状与展望[J].金属学报,1997,33(1):78-84.

[3] 牛济泰,刘黎明,韩立红.铝基复合材料焊接研究现状与展望[J].哈尔滨工业大学学报,1999,31(1):130-132.

[4] 牛济泰.焊接手册——复合材料的焊接[M].北京:机械工业出版社,2001.

什么是层间温度如何正确选择层间温度

对焊件进行多层多道焊时,当焊接后道焊缝时,前道焊缝的最低温度,称为层间温度。对于要求预热焊接的材料,当需要进行多层焊时,其层间温度应等于或略高于预热温度,如层间温度低于预热温度,应重新进行预热。

焊接奥氏体不锈钢时,为保持焊接接头有较高的耐蚀性,需要有较快的冷却速度,因此需要控制较低的层间温度,即在前道焊缝冷却到较低温度时,再进行后道焊缝的焊接。