

6061铝合金真空钎焊表面溶蚀的成因及控制

曾天俊

扬州恒星精密机械有限公司 江苏扬州 225127

摘要: 采用扫描电镜观察、热处理工艺等手段对某航空散热器的钎焊溶蚀缺陷进行了成因分析,发现原材料的成分偏析是溶蚀形成的主要原因,并提出原材料入厂时需要进行成分偏析复验的建议。

关键词: 6061铝合金; 真空钎焊; 溶蚀; 成分偏析

1 序言

6061铝合金属于Al-Mg-Si系合金,主要通过热处理过程中形成的纳米尺度亚稳沉淀相阻碍位错运动而形成足够的强度,是一种可热处理强化型铝合金^[1]。合金晶粒在基体上表现出形状各异且弥散分布的特征,如图1所示^[2]。合金时效析出序列为^[3]: α 过饱和固溶体 $\rightarrow$ 团簇/GP区 $\rightarrow$ 亚稳 β'' 相 $\rightarrow$ 亚稳 β 相 $\rightarrow$ 稳态 β 相(最终平衡相,化学成分为 Mg_2Si)。 β 相的形貌呈板状或片状,为 CaF_2 型面心立方晶体结构,其形貌如图2所示^[4]。由于合金具有比强度高以及良好的可加工性、耐蚀性、焊接性、抗氧化性等优势,所以广泛应用于航空航天用电子产品结构

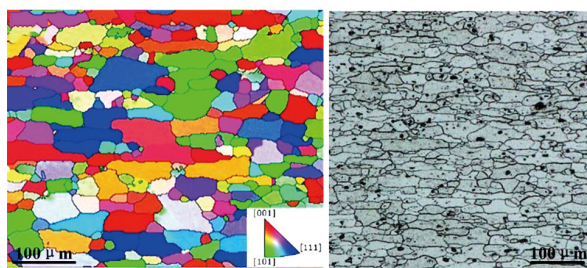
件、交通运输用车体结构件等工业制造领域。

6061铝合金可使用钨极氩弧焊、熔化极惰性气体保护焊、钎焊、电子束焊和激光焊等多种熔化焊方式进行连接。其中,由于钎焊具有能够整体加热焊接结构件、接头应力变形较小,可一次完成多缝多零件连接,可用于结构复杂且开敞性差的焊件等显著优点,所以在液冷、风冷散热组件通道中得到了广泛应用^[5-7]。然而,我公司在钎焊某款散热器产品过程中出现了溶蚀等缺陷,严重阻碍了生产进程。为此,本文对6061铝合金钎焊过程中的表面溶蚀现象进行了成因分析及控制,解决了生产难题。

2 溶蚀现象

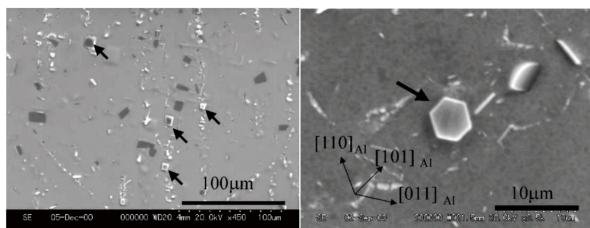
真空钎焊过程中产生的溶蚀是一种常见缺陷,它是母材表面因被熔化的液态钎料过渡溶解而形成的凹坑缺陷,主要出现在液态钎料润湿和铺展区域。目前,相关文献中关于溶蚀的成因主要归结如下:钎料成分与母材成分具有不匹配性,钎料与母材中的某些元素可形成低熔点共晶相,能够降低母材部分区域的固相线温度;由于装炉量大或工装热容量大而导致零件升温速率较慢,所以在钎料固-液相温度区间停留时间太长,在某个温度点时,钎料与母材中某些组元反应生成低熔点共晶相,导致母材合金部分区域因熔点降低而熔化;炉温不均匀,钎焊件局部温度太高,导致经钎料扩散区域母材的低熔点组分熔化;在钎料固-液相线区间升降温慢;钎焊保温时间太长等。

由于溶蚀的产生对钎焊产品的力学性能和抗腐



a) 晶粒形状 b) 晶粒分布特征

图1 6061铝合金典型显微组织^[2]



a) β 相形貌 b) β 相结构

图2 β 相扫描电子图像^[4]

蚀性能均产生较大影响,所以如何控制并减少该类缺陷的产生尤为重要。目前,常用的解决方法主要有:选择另一种钎料;温度在接近钎料熔点时提高升温速率;尽量减少装炉量和工装重量;尽量降低钎焊温度;缩短真空钎焊的保温时间等。

表1列举了航天航空铝合金关于溶蚀缺陷的部分钎焊标准,标准中根据不同的焊缝等级,对能接受的缺陷程度进行了规定。溶蚀是需要严格控制的,特殊情况下溶蚀是禁止出现的。

表1 关于溶蚀缺陷的钎焊标准

标准	缺陷	I 级	II 级	III 级
QJ 2844—1996	溶蚀	有特殊要求的工作表面不允许,并在有关文件中注明		
		其他工作表面的溶蚀深度应小于母材厚度的5%,但最大不得超过0.5mm,其累积长度应小于钎缝长度的10%	其他工作表面的溶蚀深度应小于母材厚度的5%,但最大不得超过0.5mm,其累积长度应小于钎缝长度的15%	其他工作表面的溶蚀深度应小于母材厚度的10%,但最大不得超过0.5mm,其累积长度应小于钎缝长度的20%
HB/Z 20073—2018	溶蚀	溶蚀深度小于接头厚度的5%	溶蚀深度小于接头厚度的15%	溶蚀深度小于接头最小厚度

3 溶蚀成因及控制

我公司在真空钎焊某批材料为6061铝合金的航空散热器产品时出现了局部溶蚀现象,凹坑深度达到了0.5mm,其溶蚀表面的宏观形貌如图3所示。采用扫描电镜二次电子图像对溶蚀部位进行微观形貌观察,结果如图4所示。焊缝中的微观组织分布非常不均匀,出现了很多凹坑以及尺寸各异的共晶颗粒,这些往往成为裂纹的起源,会严重削弱接头的力学性能。

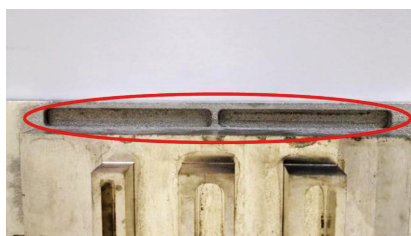


图3 某航空散热器溶蚀表面的宏观形貌

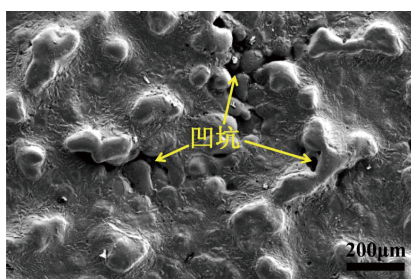


图4 某航空散热器溶蚀表面的微观形貌

基于前面关于溶蚀成因的阐述,现主要从焊接温度、化学成分、成分偏析等方面来探究某航空散热器钎焊溶蚀缺陷的具体成因,并提出控制手段。

(1) 焊接温度 焊接温度控制是影响6061铝合金真空钎焊产品质量的重要因素。焊接温度参数主要涉及升温速率、保温时间、断电温度等。在升温过程中,工件温度达到焊料液相线温度后,升温速率要快,避免高温区停留时间过长,防止因Si和Mg等元素过度溶解、渗入母材而产生溶蚀。同时,为了提高温度控制的准确性,往往在工件上设置3根热电偶,直接控制工件温度。工艺要求加热过程采用分段升温方式,以10~14℃/min的升温速率加热到520℃,保温25~35min,确认真空度达到 2×10^{-3} Pa后方可继续加热,15~25min升温到570℃,保温5~6min,再加热2~5min后升温到582℃,保温2~3min后断电,工件随炉冷却到500℃,再充氮气强冷,炉内温度低于150℃时出炉空冷。本文焊接过程的热处理制度如图5所示,焊接过程的热处理制度符合工艺要求。

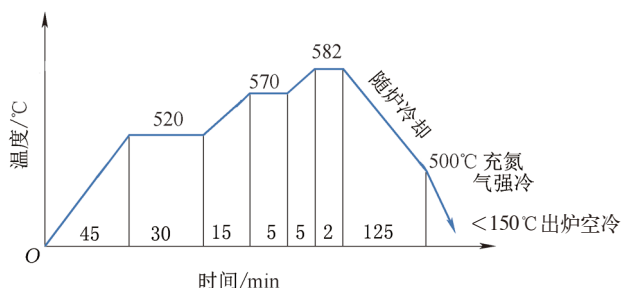


图5 某航空散热器钎焊过程的热处理制度

(2) 化学成分 相关资料表明^[3, 5], Si、Mg等合金元素的含量对钎焊溶蚀缺陷的产生有着直接影响。在整个焊接过程中, Si、Mg等元素主要来自钎

料和母材，现对原钎料和母材分别进行化学成分分析。

1) 钎料方面：由于6061铝合金熔点相对较低，熔化温度为582~652℃，所以钎焊时只能选择熔点相对较低且厚度为0.1mm的B-Al86SiMg箔状焊片作为钎料，此钎料熔化温度为559~579℃。对实际使用的钎料进行成分分析，结果见表2，各元素含量均在HB/Z 20073—2018标准所允许的范围内。

表2 B-Al86SiMg铝基钎料化学成分(质量分数)(%)

元素	Si	Zn	Mg	Al
标准值	11.0~13.0	<0.2	1.0~2.0	余量
测试值	11.17	0.015	1.47	余量

表3 6061铝合金化学成分(质量分数)

(%)

元素	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
标准值	0.4~0.8	0.7	0.15~0.4	0.15	0.8~1.2	0.04~0.35	0.25	0.15	余量
测试值	0.551	0.095	0.224	0.006	1.04	0.095	0.057	0.001	余量

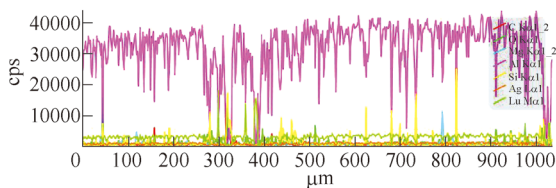


图6 某航空散热器钎焊原材料的化学元素能谱分析结果

为了验证某航空散热器的钎焊溶蚀缺陷是原材料成分偏析所致，在其他条件不变的情况下，在焊前对原材料增加一次退火处理，目的是使原材料的显微组织和化学成分均匀化，并通过电镜能谱分析确认。在成分偏析明显改善的前提下，再实施相同的焊接工艺（焊接参数保持一致）进行焊接。结果表明，钎焊溶蚀现象明显消失，合格产品的宏观形貌和微观形貌分别如图7、图8所示。

4 结束语

本文探究了材料为6061铝合金的某航空散热器在真空钎焊过程中产生的溶蚀缺陷成因及控制手段。在焊接温度、原材料和钎料化学成分都符合标准的前提下，成分偏析会导致焊缝及表面产生溶蚀缺陷。在实际生产过程中，原材料入厂时一般仅对其化学成分进行复验，往往忽略了对成分偏析进行复验。如果产品对钎焊溶蚀有要求时，必须对原材

2) 母材方面：6061铝合金属于铝镁硅系合金，含有Si、Mg等多种合金元素，容易在铝基体中形成 Mg_2Si 、 Mg_9Si_5 、 $Al_{12}Fe_3Si$ 、 Al_3FeSi 等多种相。对实际使用的母材进行成分分析，结果见表3，各元素含量均在GB/T 3190—2008标准所允许的范围内。

(3) 成分偏析 某航空散热器的钎焊溶蚀现象发生在表面局部区域，由于发生位置及形貌呈无规律状，因此有必要探究原材料的成分偏析情况。现对原材料进行多点取样，采用扫描电镜对化学元素进行能谱分析，结果如图6所示。由图6可知，Si元素（图中显示为黄色）分布不均匀，存在局部成分偏析的现象。



图7 某航空散热器合格产品的表面宏观形貌

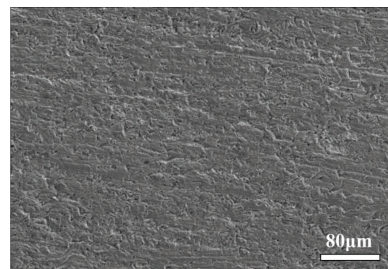


图8 某航空散热器合格产品的表面微观形貌

料成分偏析进行控制。

参考文献：

- [1] 史耀武.中国材料工程大典[M].北京：化学工业出版社，2006.
- [2] WANG Bin, LEI Bobo, ZHU Jiaxiang, et al.EBSD study on microstructure and texture of friction stir welded AA5052-O and AA6061-T6 dissimilar joint[J]. Materials & Design, 2015, 87: 593-599.

焊接方法对轮式洗砂机叶片T形接头焊脚尺寸的影响分析

张治国*, 张丹丹

陇南师范高等专科学校机电工程学院 甘肃陇南 742500

摘要: 轮式洗砂机叶片T形接头角焊缝受冲击载荷、冲刷、腐蚀等因素影响,对焊接质量要求较高。在生产和维修过程中,焊脚高度的控制很重要。利用常用焊接方法与高效焊接方法进行了T形接头角焊缝的焊接。通过分析角焊缝形貌、熔合深度等因素,得出采用不同焊接方法焊接T形接头时控制角焊缝尺寸的规律。利用CO₂气体保护焊焊接T形接头时,焊脚高度应大于焊条电弧焊。为了保证焊接强度,常规焊接方法应尽量采用多层多道焊接T形接头。采用大熔深焊接方法可以减小焊脚高度。

关键词: 洗砂机; T形接头; 焊脚尺寸; 熔合深度

1 序言

轮式洗砂机作为一种砂料清洗设备,在矿山、建筑、化工等行业被广泛应用。甘肃陇南矿产资源丰富,矿山企业数量众多,洗砂设备应用频繁。由于轮式洗砂机结构相对简单,主要依靠焊接成形,因此焊接材料和焊接质量的好坏直接决定了洗砂设备的质量。洗砂机工作时,电动机提供能源,通过减速器带动叶轮进行转动,转动过程中叶片将洗砂池的砂石带动翻转,再经过水进行清洗,依靠砂石之间的翻滚研磨和水的冲洗将砂石表面的杂质清洗掉,并将砂石表面包裹的水汽层打破,起到消除砂石水分的作用。

洗砂机叶轮是一个直径达数米的轮式结构,

在转动过程中位于叶轮最顶端的叶片承载了最大弯矩,并承受了砂石和水的冲击和冲刷作用,是整个洗砂机最容易损坏的零部件之一。叶片与叶轮立板采用T形接头焊接,角焊缝的焊接顺序、焊接参数、焊接结构都对T形接头承载有很大影响^[1],角焊缝中存在一定的残余应力,残余应力的释放受到不同的循环载荷的影响^[2]。由于焊缝表面裂纹应力强度受到T形焊接接头结构的影响^[3],故T形接头的焊接质量控制显得尤为重要。由于焊接工艺不当、受力复杂、腐蚀等因素,使叶片与叶轮立板焊缝很容易开裂。采用常用焊接方法和发展日益成熟的高效焊接方法^[4]焊接轮式洗砂机叶片T形接头,通过分析得出采用不同焊接方法焊接T形接头角焊缝的熔合

基金项目:陇南市2020年市列指导性计划项目(2020-ZD-03),2021年陇南师专校级教学改革重点项目(JXGG2021009)。

通信作者:张治国,讲师,主要从事高效焊接方法研究。

- [3] 王祝堂,田荣璋.铝合金及其加工手册[M].湖南:中南大学出版社,2000.
- [4] MATSUDA Kenji, KAWABATA Tokimasa, UETANI Yasuhiro, et al.Hexagonal tabular β -phase in Al-Mg-Si-Cu alloy[J].Scripta Materialia, 2002, 47 (7): 467-471.
- [5] 张启运,庄鸿寿.钎焊手册[M].北京:机械工业出版社,

2008.

- [6] IKENO Susumu, MATSUDA Kenji.Precipitation sequence of Al-Mg-Si alloys[J].Materials Science Forum, 2003, 426 (1): 357-362.
- [7] 曾天俊.雷达裂缝天线焊接工艺改进[J].金属加工(热加工), 2020 (12): 42-45.

MW 20210702