



电阻点焊焊点断裂原因分析

李晶 杨耀东 荣健

【摘要】某产品部件在多次力学环境验证试验后，在头部点焊附近发生断裂。试验结果表明：该部件材料金相组织，化学成分均满足标准相关要求，对断口进行电镜观察发现明显疲劳条带，结合试验过程及有限元力学模拟验证，对部件断裂的原因进行了综合分析。分析结果表明多次力学试验过程中，该部位所承受的试验载荷均较大，形成较大应力集中，且多次试验形成循环载荷，导致损伤累积，直至发生疲劳断裂失效。

关键词：疲劳断裂；电阻点焊；断裂失效

1. 概述

某部件在强度验证试验过程中，头部发生断裂，断裂位置如图1所示，导致试验中断。该失效部件曾多次用于不同的力学试验、载荷标定试验、鉴定级力学环境试验等，该失效部件材料牌

号为TB2，具有优异的冷加工成形特性，热处理强化效果显著，高温瞬时性能好等诸多优点。焊接该部件的电阻点焊工艺由于熔化金属时不直接与外界大气接触，冶金过程简单，热影响区较窄。钛板厚为1.8mm，原材料经

复验合格后使用。部件电阻点焊焊点质量满足QJ2695—1995标准要求。本文对该部件进行了综合分析（宏观观察、断口宏微观观察、化学成分分析、金相分析等），确定了该钛合金部件的断裂性质，并在此基础上进行了相

我们把坡口的直角拐角改成了圆弧过渡，如图6所示。这样加工的优点：①一次预热，避免重复二次起枪重复预热，预热时间缩短了75%。②避免二次起枪预热多余热量输入，有效避免了多瘤、过烧熔化塌陷，提高了坡口质量，减少了打磨清理强度。③减少了收枪和二次起枪中间的安全位置过渡，节约了时间和气体成本。④四道坡口加工程序合成一道加工程序，减少了操作强度，提高了ABB坡口机器人的自动化。⑤弧形拐角便于施焊。



图 6

4. 结语

(1) ABB火焰坡口机器人对于加工Y形、V形坡口比机械加工铣边机、刨床加工效率高、劳动强度低、自动化程度高。与手工

火焰气割相比，表面切割坡口光滑平整，降低了清理打磨强度，切割质量稳定，可大批量、大规模生产，有效降低劳动强度。

(2) 通过对ABB火焰坡口机器人切割工艺改进，缩短了预热和加工时间，提高了坡口机工作效率，有效减少了过烧和多瘤现象，提高了坡口表面质量，减少了打磨清理强度，提高了ABB机器人的自动化。

作者简介：陈飞等，西安煤矿机械有限公司。

MW 20170724

似点验证和有限元力学模拟,对部件断裂的原因进行综合分析,为产品的工艺优化、试验过程改进提供技术依据。

2. 试验过程与结果

(1) 宏观观察 为了便于描述,对图1所示的3个焊点分别标以1[#]、2[#]、3[#],部件发生断裂的位置在1[#]焊点周围,具体位置如图1所示,切下部件的外观以及点焊位置如图2所示。

(2) 断口宏观观察 对断口宏观、微观形貌和特征进行观察,部件从点焊连接处断裂,断口平坦,靠近点焊根部处,呈亮灰色,放射棱线比较明显,但面积比较小。整个断口以中间暗灰色区域为主,在边缘处有部分面积较小的发亮区,如图3所示。

将焊接断口清洗后放入扫描电镜进行微观特征观察。断口低倍形貌如图4所示,可以看到整个断口分源区,疲劳扩展区、瞬断区和撕裂区。其中,疲劳源区起源于点焊连接处内表面一侧,

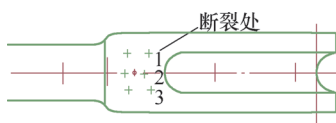


图1 部件断裂位置

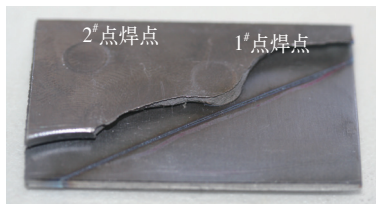


图2 部件断裂处焊点

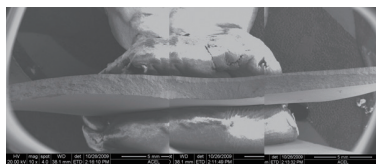


图3 断口全貌

源区未见明显的夹杂和其他冶金缺陷;疲劳扩展区面积约占整个断口面积的1/10,呈圆弧形分布,有明显疲劳特征,如图5所示。瞬断区面积比较大,为等轴韧窝形貌,如图6所示。

(3) 金相检查 在断口附近截取金相试样,磨抛腐蚀后用金相显微镜进行观察。金相组织如图7所示,弥散 α 相析出于 β 基体相上,组织未见异常。

(4) 化学成分分析 在失效部件上截取试样进行化学成分分析,测试结果如附表所示。结果表明,失效钛合金部件的化学成分测试结果符合标准GB/T3620.1—2007《钛及钛合金牌号》和化学成分》中的要求。

3. 分析与讨论

通过金相分析、化学成分测试结果可看出该部件材料的组织、成分正常。由断口较为平坦、源区呈线源特征和断口上的疲劳特征可知,TB2钛合金部件的断裂性质为疲劳断裂,断裂起源于点焊点边缘处的内表面一侧。从断口瞬断区所占的面积较大来看,此失效部件在力学试验过程中承受的试验载荷比较大。

在对失效件进行观察时还发现,与1[#]焊点呈对称位置的3[#]焊点边缘处表面有折痕,但无裂纹,切下该点焊点,并将其沿着垂直折痕方向剖切并做金相,发现截面有明显裂纹,如图8所示白色箭头所指处,裂纹萌生于焊点熔核外缘附近。

可以看出此裂纹同样萌生于点焊点外缘区域,裂纹若继续扩展,则同样会导致此部件断裂失效,说明1[#]、3[#]焊点处受到的作

用力的形式是相近的。

采用有限元分析法对部件受力情况进行模拟,得出受力分布情况如图9所示。由此可见,在部件拉伸试验过程中,1[#]、3[#]点焊点附近为受力集中区域。

结合断口分析及部件多

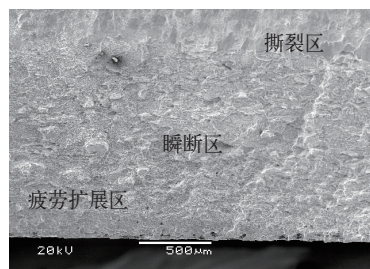


图4 断口低倍形貌

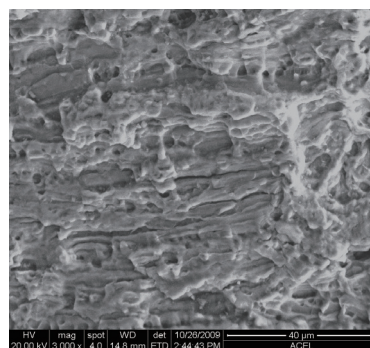


图5 扩展区疲劳特征

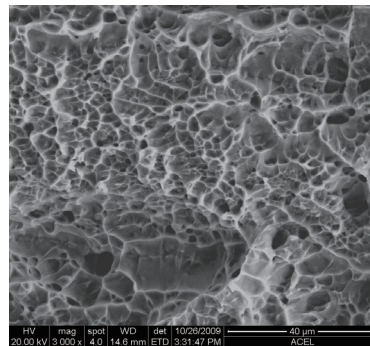


图6 瞬断区韧窝特征

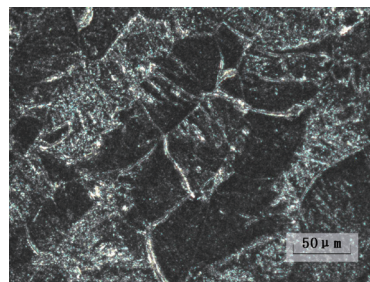


图7 金相组织

(下转第75页)

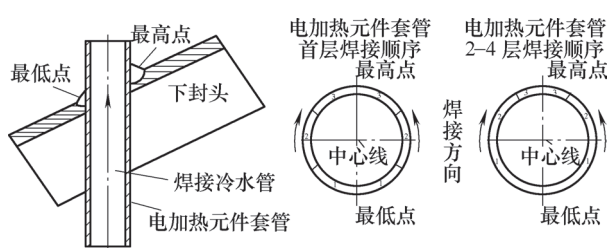


图8 电加热器套管与下封头对称焊接



图9 电加热器套管与下封头焊接冷却装置



图10 焊接场地及操作人员

8. 结语

经过上述保证措施的落实，供应商承制的阳江3[#]、4[#]、宁德

3[#]、4[#]机组四台稳压器电加热器元件共252条焊缝探伤均一次合格，合格率100%。

通过以上对电加热器元件焊接质量的控制，不仅为后续核电项目主设备稳压器电加热器元件焊接提供了良好经验，而且能够在技术上消除电加热器元件焊接的重大质量风险，保证了焊缝质量一次合格率，实现了以质量促进度、以安全增效益的目标。

作者简介：徐佳，华龙国际核电技术有限公司。

MW 20170719

(上接第71页)

失效部件化学成分（质量分数） (%)

待测元素	Al	Mo	V	Cr	Fe
标准含量	2.5~3.5	4.7~5.7	4.7~5.7	7.5~8.5	0.30
实测含量	2.58	4.84	4.97	8.29	0.094
待测元素	C	N	H	O	—
标准含量	0.05	0.04	0.015	0.15	—
实测含量	0.0096	0.037	0.011	0.12	—

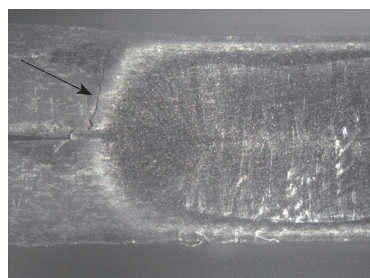


图8 3[#]焊点截面上裂纹

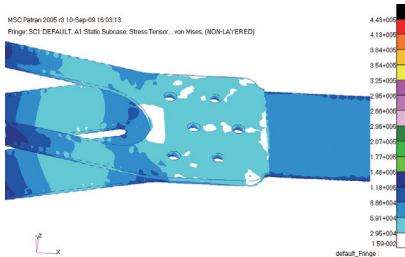


图9 部件力学模拟截图

次用于力学试验的情况综合分析，可见焊点边缘热影响区相对

薄弱，而1[#]、3[#]点焊点附近受力相对集中。在以往多次力学试验

过程中，该部位所承受的试验载荷均较大，在点焊点外缘形成较大应力集中，且多次试验形成循环载荷，从而形成损伤累积，直至发生疲劳断裂失效。

4. 结语

(1) TB2钛合金部件的断裂性质为疲劳断裂，断裂起源于点焊点外缘处的内面一侧。

(2) 多次力学试验在相对薄弱的点焊点边缘处造成的累积损伤是导致疲劳断裂的直接原因。

作者简介：李晶等，中国空间技术研究院北京卫星制造厂。

MW 20170719