

小型钛合金压力容器的声发射评价

刘哲军 葛丽 伍颂 程茶园

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 对三种结构形式的小型钛合金压力容器进行了声发射检测试验。通过对大量声发射检测数据的分析,结合容器结构特点提出了评价这三种小型钛合金压力容器声发射严重性的三条新判据。

关键词 钛合金,压力容器,声发射,评价

Acoustic Emission Estimate for Small Titanium Alloy Pressure Vessels

Liu Zhejun Ge Li Wu Song Cheng Chayuan

(Aerospace Research Institute of Material & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract Three kinds of small titanium alloy pressure vessels were tested by acoustic emission technique. According to analyzing results of quantities acoustic emission data, three new criteria of acoustic emission estimation for these small titanium alloy pressure vessels, are brought forward in combination with their structural characteristics.

Key words Titanium alloy, Pressure vessel, Acoustic emission, Estimate

1 前言

钛合金压力容器的母材及焊缝区域可能存在夹杂、偏析、裂纹、夹渣、未熔合、未焊透等缺陷,因此,从原材料、半成品到成品的生产全过程,要经过 100% 无损检测、理化检测及容器成品的液压强度验收^[1]。材料或结构件在应力作用下释放出弹性应力波的现象称为声发射^[2]。在钛合金压力容器液压验收过程中对容器整体进行实时声发射检测并评价其声发射严重性等级,已经成为钛合金压力容器质量验收的重要依据。体积不大于 60 L 的小型钛合金容器数量约占钛合金压力容器总量的 95% 以上,以恒载声发射延续时间为主的声发射严重性判据基本适应了这些小型钛合金容器的大多数检测情况。近年来以卫星用贮箱和气瓶为代表的钛合金压力容器在原材料、容器结构、加工工艺上与以前产品相比有了较大的变化,这种变化会直接影响到声发射检测的数据,若不考虑这些变化并补充新的声发射严重性判据则可能会出现漏判或误判^[3]。本文结合两种钛合金气瓶和一种钛合金贮箱的声发射检测实例,说明其声发射严重性评价判据除了重点考虑恒载声发射延续时间外,还应考虑声发射源定位集中度、高幅度(≥ 80 dB)信号数量等情况,结合容器的结构和工艺特点来综合判

断容器的损伤严重性级别。

2 球形钛合金气瓶结果评价

球形钛合金气瓶的声发射事件数量一般较少,信号多定位于焊缝区域内。这类容器的声发射严重性评价应格外注意高幅度信号的数量及定位集中度,高度集中的定位集中区对应着活动性缺陷的准确位置。定位集中区无论在焊缝区域还是在母材区域,都应高度重视,若集中区内有不少于 5 个高幅度声发射信号,则气瓶的声发射严重性级别至少为 IIc 级。

球形气瓶声发射检测一般采用四个传感器沿赤道焊缝均匀布置的平面定位方式。图 1 为球形气瓶典型声发射校准定位结果。

图 2 为球形气瓶的典型声发射检测结果。图 2(a)为声发射定位结果,对比校准定位结果可以看出:声发射信号主要分布在赤道焊缝区域,并集中在图中标记为 A 的黑圈处。图 2(b)为声发射信号幅度、载荷与时间的历程结果,可以发现:声发射信号均来自气瓶的升压过程中,在升压的中后期出现了 5 个高幅度信号(图中标记为 B 的黑圈处),在后续的 10 min 保压期间没有出现声发射信号,保压声发射延续时间为 0。进一步分析发现:升压过程的 5 个高幅度信号均定位在图 2(a)标记为 A 的黑圈内,该位置对

收稿日期:2008-09-02

作者简介:刘哲军,1972 年出生,高级工程师,主要从事声发射无损检测工作。E-mail:bj703lzj@163.com

应为气瓶上管口出口方向的赤道焊缝区域。该结果在二次声发射试验中得到了证实,最终判定该气瓶声发射严重性级别为 IIc 级。

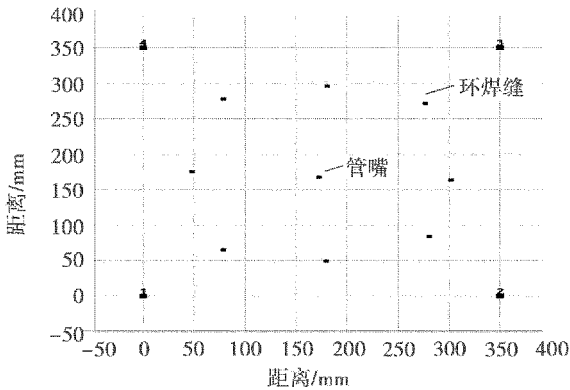
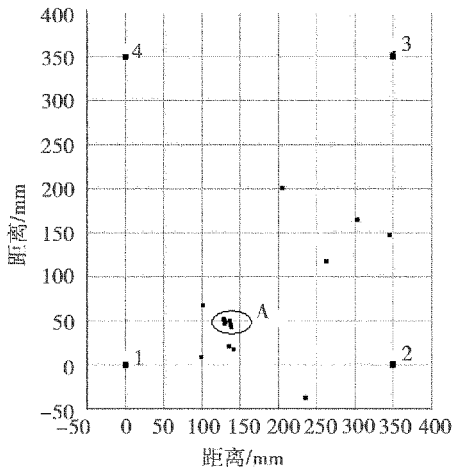
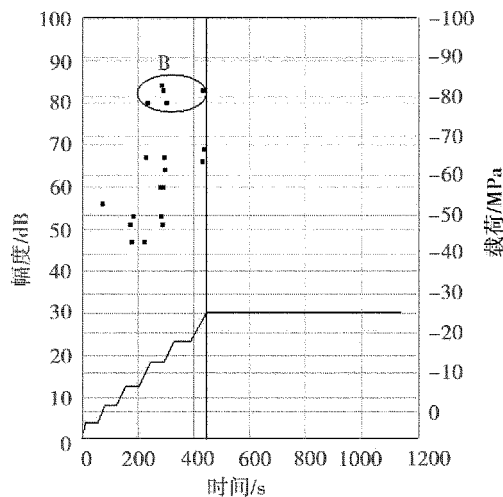


图1 球形气瓶声发射定位校准结果

Fig.1 AE location of spherical vessel by breaking pencil leads



(a) 声发射定位结果



(b) 声发射信号幅度、载荷历程图

图2 球形气瓶声发射检测结果

Fig.2 AE data of spherical vessel

3 锥形钛合金气瓶结果评价

锥形气瓶(图3)以赤道焊缝为界上半部分为半球形,下半部分为锥形,在上下部分对称的位置上焊接了两个支耳,用于安装固定。

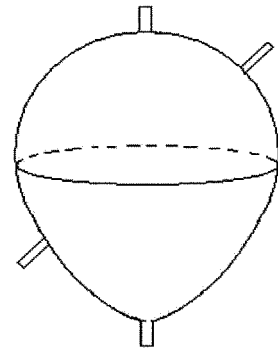
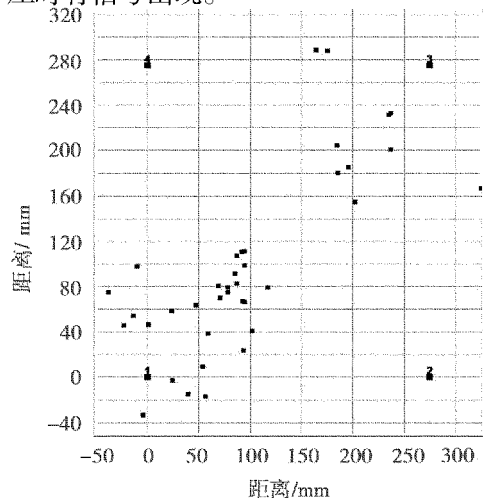


图3 锥形气瓶结构示意图

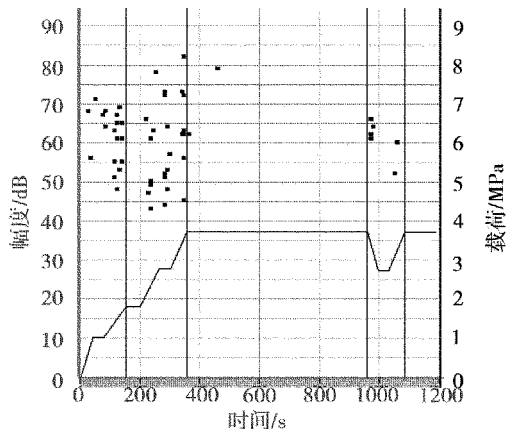
Fig.3 Structural map of cone-shaped vessel

锥形气瓶的声发射评价原则与球形气瓶一致,但需要考虑支耳对声发射结果的影响。锥形气瓶的支耳采用点焊方式固定在气瓶外壳上,因此在后续的加压试验过程中,气瓶受压膨胀会造成支耳点焊连接部位摩擦或微小开裂,从而支耳部位成为声发射检测过程中主要的声发射机制。来自支耳点焊部位的声发射并不影响气瓶的承压强度,因此可以认为这些信号为声发射结构噪声而不予考虑。因此在对锥形气瓶进行声发射评价时对于支耳部位的声发射集中度可以不予考虑,但对于该部位出现的高幅度信号必须重视,若集中区内有不少于1个高幅度信号,则该气瓶声发射严重性级别至少为 IIa 级。

图4是锥形气瓶的典型声发射检测结果。从图4(b)可以看出,在第一次升压过程中有大量声发射信号,保压时基本没有声发射信号出现,在降压和二次升压时有信号出现。



(a) 声发射定位结果



(b) 声发射信号幅度、载荷历程图

图4 锥形气瓶的声发射检测结果

Fig. 4 AE data of cone-shaped vessel

从定位图上观察,信号主要集中在两个区域,分布在1、3号传感器连线上,定位集中度较高。通过定位校准和比对发现这两个信号集中区域与气瓶上的支耳位置相对应。结合声发射信号特点和气瓶结构,分析认为这些信号主要来自两个支耳与瓶体点焊处,其对应的声发射机制主要为摩擦和焊点部位的缺陷活动。考虑到支耳部位母材的声发射信号也定位于此,因此对于来自该区的高幅度信号应予以重视。分析发现有一个高幅度信号定位在支耳部位的区域,并从信号特征上基本排除了其来自点焊部位摩擦的可能性,因此综合考虑后确定该气瓶的声发射严重性级别为IIa级。

4 球形钛合金贮箱结果评价

球形钛合金贮箱是小型卫星常用的燃料贮箱结构形式之一,并且贮箱内部设计了一套特殊功能装置。在贮箱壳体焊接过程中为了保护贮箱内部结构不受损害,一般在焊缝结构上采用插接或锁底衬环的设计(图5)。这种焊缝结构设计避免了焊接飞溅对贮箱内部结构的损害,但容易造成焊缝结构粘连或焊缝根部结构上的不能融合。在声发射检测中,来自焊缝区域的声发射信号数量很多、幅度也很高,其多与这种焊缝结构造成的粘连开裂和未融合处裂纹扩展有关。由于焊缝粘连点的开裂并不会影响贮箱的结构强度,因此这种机制的声发射属于结构噪声,可以不予考虑^[4]。

焊缝未融合处的开裂和扩展产生的声发射与粘连点开裂不同,后者主要来自首次升压过程中,而前者可能来自升压和保压整个过程^[4]。由于焊缝未融合处的开裂和扩展直接影响贮箱的强度和使用安全,因此对于小型球形贮箱的声发射评价应主要考虑恒载声发射延续时间和二次加载声发射事件计数。大

量试验数据分析后认为:首次恒载声发射延续时间不少于3 min 或二次加载升压过程中出现不少于2个声发射事件或二次加载保压过程中出现1个声发射事件,贮箱的声发射严重性级别应至少为IIc级。

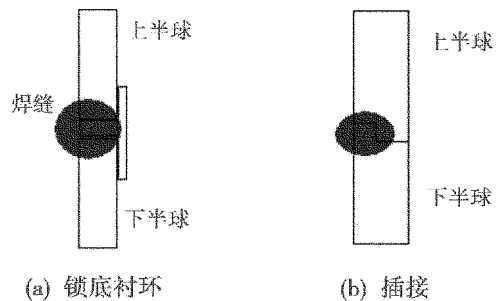


图5 贮箱赤道焊缝典型结构示意图

Fig. 5 Sketch map of equatorial weld structure

小型球形钛合金贮箱的声发射检测一般采用沿赤道焊缝均匀布置成四通道平面定位阵列,声发射校准定位典型结果见图6。图7为这类贮箱典型声发射结果。

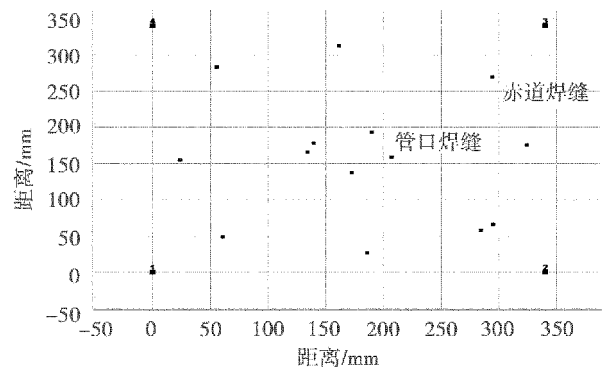
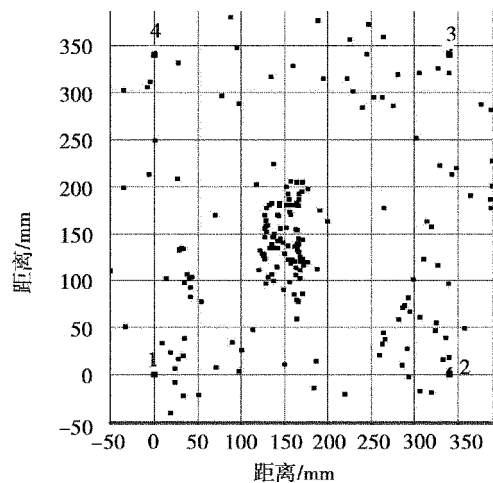
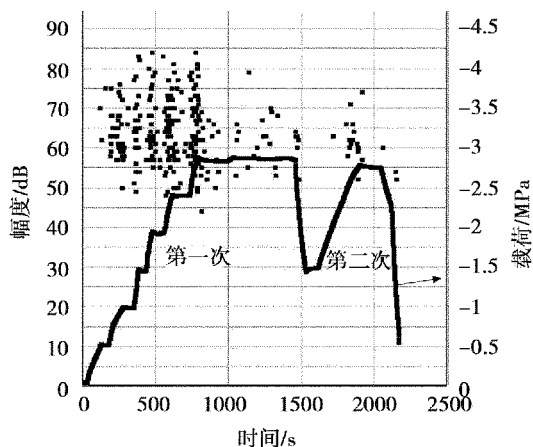


图6 小型球形贮箱声发射校准定位结果

Fig. 6 AE location of small spherical tank by breaking pencil leads



(a) 声发射定位结果



(b) 声发射信号幅度、载荷历程图

图7 贮箱的声发射检测结果

Fig. 7 AE data of tank

从图中可见声发射信号主要来自赤道焊缝区域和管口焊缝区域,且分布比较均匀,各定位点已基本连成环形焊缝的形状。图7(b)为贮箱声发射幅度、载荷与时间的历程结果。从图可见,声发射起始后在一次升压和保压过程及二次升压和保压过程中几乎没有间断。升压信号幅度和数量远大于保压过程。分析发现保压过程信号大多数定位在赤道焊缝处,与焊缝根部未融合的持续扩展有关,因此判定该贮箱声发射严重性级别为IIc级。

5 结论

小型钛合金压力容器的声发射严重性评价判据一直以恒载声发射延续时间为主,但需要考虑具体容

器的结构特点和工艺特点来进行声发射严重性评价。

(1)针对球形钛合金气瓶,应格外注意高幅度信号的数量及定位集中度,高度集中的定位集中区对应着活性缺陷的准确位置。定位集中区无论在焊缝区域还是在母材区域,都应高度重视,若集中区内有不少于5个高幅度声发射信号,则气瓶的声发射严重性级别至少为IIc级。

(2)针对锥形钛合金气瓶,支耳部位的集中区内有不少于1个高幅度信号,则该气瓶声发射严重性级别至少为IIa级。

(3)针对球形钛合金贮箱,首次恒载声发射延续时间不小于3 min或二次加载升压过程中出现不少于2个声发射事件或二次加载保压过程中出现1个声发射事件,贮箱的声发射严重性级别应至少为IIc级。

参考文献

- 1 刘哲军,苗月忠,沈功田.压力容器无损检测——有色金属压力容器的无损检测技术.无损检测,2005;27(7):379
- 2 杨明纬,刘哲军,马云中.声发射检测.北京:机械工业出版社,2005:1
- 3 刘哲军,朱军辉,程茶园.声发射技术在我国航天工业中的应用进展.见:戴光等.中国第十届全国声发射会议论文集.大庆,2004:28
- 4 刘哲军,金周庚,赵建华.卫星用钛合金贮箱声发射噪声源机制研究.见:耿荣生等.中国机械工程学会第八届全国无损检测大会论文集.苏州,2003

(编辑 吴坚)

(上接第14页)

2 丘哲明.固体火箭发动机材料与工艺.北京:宇航出版社,1995:253

3 陈春娟,马国富,王江等.冲压发动机补燃室抗冲刷绝热层.见:2005年冲压发动机技术交流会,吉林,2005:492~494

4 张崇耿,张新航,李强等.J210-8绝热层的研制及其应用.宇航材料工艺,2007;37(3):35~36

5 姜志荣,周明川,王玉等.J421高性能绝热层配方的研制.航天国防科学技术报告,1998:12

6 张劲松等.填充纤维及阻燃剂对EPDM绝热层耐烧蚀性能的影响.固体火箭技术,2002;25(2):39~40

7 宋崇健,张炜,莫纪安.无石棉内绝热层材料现状与发展.宇航材料工艺,2003;33(3):6~7

8 王克秀.固体火箭发动机复合材料基础.北京:宇航出版社,1994:194~195

9 刘莉等.用丙烯酸锌改善EPDM与金属的粘合性能.橡胶工业,2004;51(4):209~212

10 虞宇力等.甲基丙烯酸锌对EPDM的补强作用.橡胶

工业,2001;48(9):522~525

11 王维明.固体火箭发动机橡胶绝热层粘接问题分析.见:航空航天部第三情报网第十三次技术情报交流会,福建,1992:9

12 张劲松,何永祝,凌岭等.三元乙丙橡胶黏接剂的研制. China Adhesives,2003;14(1):22~24

13 王德志,曲春艳,张杨.三元乙丙橡胶黏接用胶黏剂的研制.化学与黏合,2006;28(3):153~156

14 李强,张新航,张崇耿.柔性无卤含磷体系EPDM绝热层在固体火箭发动机中的应用.固体火箭技术,2007;30(4):345~346

15 邹德荣等.金属和三元乙丙橡胶黏接工艺研究.粘接,2002;23(1):43~52

16 董林生.氧-乙炔火焰烧蚀热流密度研究.见:航天国防科学技术报告,1999;11:5~6

(编辑 吴坚)