

某压力容器封头焊缝开裂分析

Weld Cracking Analysis of the Pressure Vessel Cover

刘 华

(四川工程职业技术学院, 四川 德阳 618000)

LIU Hua

(Sichuan Engineering Technical College, Deyang 618000, Sichuan, China)

摘要: 某压力容器封头在打压实验过程中焊缝开裂,采用扫描电镜、光学显微镜对断口特征和金相组织进行了观察,并对焊缝的显微硬度、氧和氢含量等进行了检测,在综合分析的基础上,确定了封头焊缝开裂原因。结果表明:封头焊缝开裂是由于在焊接过程中,焊缝内表面保护不良而形成氧化层及富氧层,加之封头吊耳焊缝与环形焊缝叠加处具有一定的应力集中和相对较高的残余应力,从而在压力实验过程中造成焊缝开裂。

关键词: 钛合金; 焊接; 开裂

中图分类号: TG4 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2007) 06-0043-03

Abstract: The welding line of the pressure vessel cover cracked in the process of pressure experimentation. By means of macro and micro observation on fracture surface, observation on microstructure, hardness test, oxygen and hydrogen content examination, the cause of weld cracking was analyzed. The results showed that the main cause of weld cracking of pressure vessel cover was that the argon protect in the process of welding cannot meet the request, which resulted in the formation of oxide layer and layer on welding line inner surface. In addition, The welding line cracked in the process of pressure experiment because of high stress concentration and high residual stress in the juncture of the two welding lines.

Key words: titanium alloy; welding; crack

某压力容器封头采用 BT 20, BT 14 钛合金焊接结构。在对该压力容器进行打压实验过程中,当实验压力升至 4.7 MPa 时,发现存在漏水现象,随即封头焊缝位置发生开裂。该封头 环为 BT20 锻件,前底为 BT 14 热成形件,环与前底采用自动钨极氩弧焊进行焊接,焊丝为 BT 1-00 纯钛焊丝,焊后进行 700 , 1 5h 真空退火处理,随炉冷却。按照设计要求需对该压力容器进行打压实验,实验压力要求达到 4 8 ~ 5 0 MPa,并保持 10min。

本工作通过对断口特征、金相组织进行宏观观察以及焊缝的显微硬度、氧和氢含量测定等方面的研究,对封头焊缝开裂的原因进行了分析。

1 实验过程与结果

1.1 宏观检查

封头 环和前底焊缝开裂形貌如图 1 所示,可见裂纹沿环形焊缝扩展,裂纹长度大约为环形焊缝长度的 1/3。焊缝内外表面均为均匀的鱼鳞状,表面质量

较好。焊缝外表面为金属光亮色,内表面为暗灰色。在靠近吊耳焊缝与环形焊缝重叠焊接的位置(见图 1 中平行箭头所指部分)的断口上,裂纹扩展棱线由焊缝内表面向外表面呈放射状扩展,线源,见图 2,断口两侧则可见放射棱线与断口成一定的角度。从而根据断口裂纹扩展棱线等宏观特征可知,裂纹源区位于靠近吊耳位置处,呈线源特征,并且由封头内表面向外表面扩展。

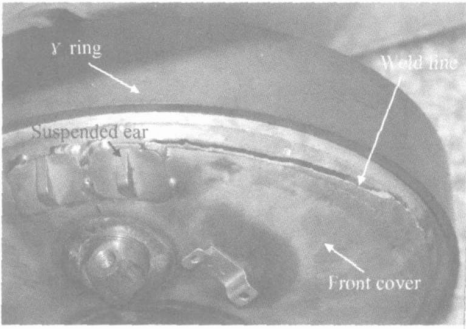


图 1 封头焊缝开裂形貌

Fig. 1 Weld cracking on pressure vessel cover

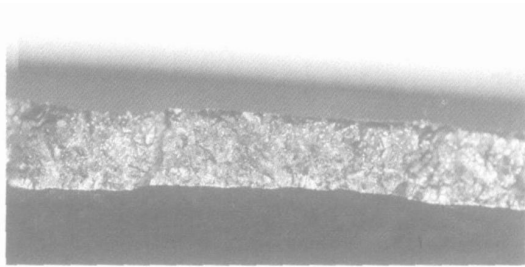


图 2 焊缝裂纹断口形貌
Fig. 2 Fracture surface of weld cracking

1.2 断口微观观察

将裂纹断口超声波清洗后进行扫描电镜观察, 裂纹源区焊缝内表面 SEM 形貌见图 3, 为典型的准解理断裂特征, 在断口上与源区相对应的焊缝外表面一侧为典型的钛合金等轴韧窝或拉长韧窝断裂特征。裂纹扩展区也表现出由焊缝内表面准解理断裂特征到外表面韧窝断裂的变化规律。断口上未发现明显的焊接缺陷。

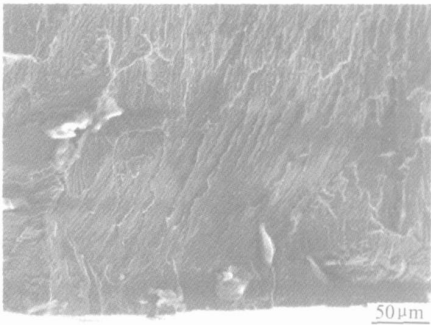


图 3 焊缝内表面准解理特征
Fig. 3 Quasi-cleavage fracture in weld cracking near inner fracture surface

1.3 金相组织检查

在靠近裂纹源区以及裂纹末端截取金相试样, 磨抛腐蚀后进行金相组织观察。

BT 20 钛合金母材组织为 + 等轴组织, 见图 4。BT 14 钛合金母材组织为双态组织, 见图 5, 母材金相组织未发现异常。图 6 为靠近焊缝内表面的 SEM 组织形貌, 可见在焊缝内表面存在明显的氧化层, 在氧化层下面存在厚度约为 50 m 左右的富氧层, 富氧层 SEM 组织形貌见图 7, 为粗大的 / 板条和针状相。靠近焊缝外表面的组织形貌为明显的魏氏组织特征。金相组织检查还发现在焊缝内表面靠近裂纹源区的氧化层及富氧层存在较多的微小裂纹, 见图 8。

金相组织观察未发现明显的气孔、夹杂等焊接缺陷。

1.4 显微硬度检测

在裂纹源区附近截取显微硬度试样, 对焊缝内表面富氧层的显微硬度进行检测, 检测结果见表 1。

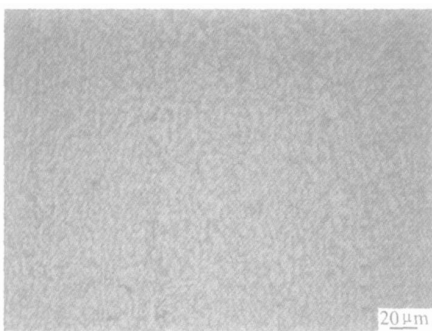


图 4 BT20 母材金相组织
Fig. 4 Microstucture of BT 20

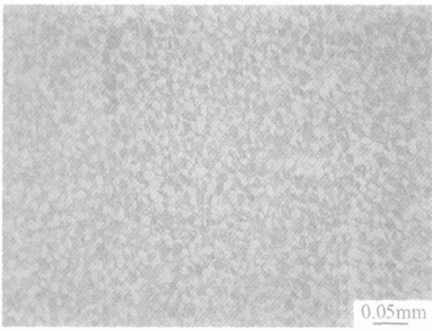


图 5 BT14 母材金相组织
Fig. 5 Microstucture of BT 14

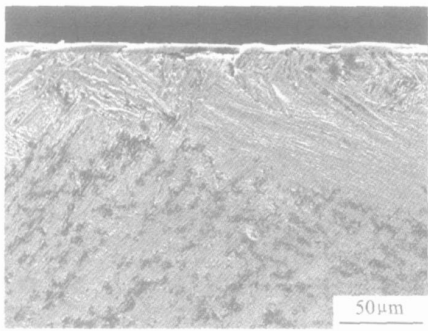


图 6 焊缝内表面组织
Fig. 6 Microstucture of welding line near inner surface

表 1 焊缝不同部位显微硬度检测结果
Table 1 Microhardness of welding line

Position	Results(HV)	Average
layer	626.8 603.1 637.9	622.6
Middle of welding line	420.9 406.8 433.6	420.4

由表 1 可知, 富氧层显微硬度远高于焊缝中部。

1.5 焊缝氧含量、氢含量测定

在裂纹源区和扩展区截取试样, 测量焊缝的氧含量和氢含量, 检测结果见表 2。

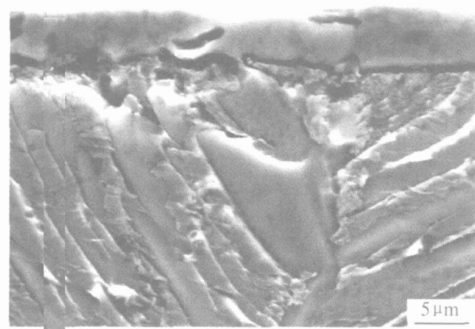


图 7 焊缝内表面氧化层及富氧 层

Fig. 7 Microstructure of oxide layer and layer of welding line near inner surface

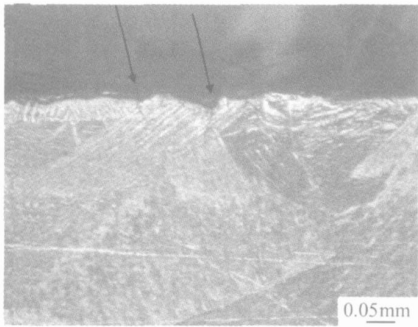


图 8 焊缝内表面富氧 层内的微裂纹

Fig. 8 Microcrack in oxide layer and layer of welding line near inner surface

表 2 焊缝氧含量和氢含量检测结果(质量分数/ %)

Table 2 Results of oxygen and hydrogen content text(mass fraction/ %)

Material	Permission		Results	
	H	O	H	O
BT 20	0. 015	0. 15	0. 0023	0. 19
BT 14	0. 015	0. 15		

由表 2 可知, 焊缝 H 含量符合规定要求, 但是 O 含量超标。

2 结果分析与讨论

由以上实验结果可知, 封头 环以及前底金相组织正常, 焊缝断裂源区及断口其它部位未发现明显的焊接缺陷, 因此裂纹的产生与封头焊接母材以及焊接缺陷无关。

断口微观观察结果表明, 在靠近焊缝内表面的断口上, 不管是裂纹源区、扩展区或瞬断区, 断口微观断裂特征均表现为准解理断裂特征, 向焊缝外表面方向, 微观断裂特征逐渐变化为等轴韧窝或剪切韧窝特征。

研究结果表明^[1- 3], 未受到污染的钛合金焊缝拉伸断裂特征一般为韧窝形貌, 当受到氧、氢的污染时, 则易出现解理、准解理的断裂特征。对焊接接头的氧和氢含量的检测结果表明, 接头氢含量符合规定要求, 而氧含量超过规定值。由此可知, 裂纹的产生与氢无关。由此可知, 焊缝内表面氧含量偏高, 是造成断口上靠近内表面的为准解理断裂特征的主要原因。而焊缝外表面保护良好, 焊缝氧含量正常, 则表现为韧窝断裂特征。

钛合金由于其高温下化学活性高, 在热成形或热处理加热等过程中, 由于保护不好, 极易受到周围气氛的污染, 从而形成污染层。其中最为常见的就是受到氧的污染, 从而在钛合金表面形成氧化层和富氧层^[4]。钛合金表面的富氧 层由于受到氧的污染, 使得晶界 相变粗大, 同时由于氧易于沿 / 相界扩散深入晶粒内部, 导致表面附近的 / 条变粗, 形成粗大的针状 相。对焊缝的氧含量检测结果表明, 焊缝氧含量超过技术要求所规定的氧含量值; 对裂纹不同部位的金相组织观察结果表明, 焊缝的内表面存在明显的氧化层, 且在靠近内表面的氧化层存在深度约 50 m 左右的粗大 / 板条以及针状 相, 表现为明显的富氧 层的组织特征。

同时, 焊缝不同部位的显微硬度检测结果也表明, 距焊缝内表面 20 m 左右的显微硬度值远远大于焊缝内部。朱知寿等的研究结果^[4]表明, 采用显微硬度法可用于钛合金表面富氧 层及其深度的检测判定, 如果显微硬度大于基体 20HV, 则可判定为氧污染层。结合表 1 的检测结果表明, 封头焊缝内表面受到了较严重的污染。

另外, 文献[5] 的研究结果表明, 当焊缝受到有害气体的污染后, 就会在焊缝表面上形成黄、紫、蓝、灰等各种颜色, 这些颜色的变化不仅反映了钛受到污染后的外貌特征, 也决定了污染的轻重程度。当焊缝表面呈现灰色或暗灰色, 焊缝的氧含量已超过规定的上限, 当为金黄色及深蓝色时, 焊缝的氮、氢、氧含量均在技术条件的规定范围内。从本故障件焊接接头内表面和外表面的颜色可以看出, 焊缝外表面呈光亮色, 说明保护良好, 而焊缝内表面为暗灰色, 说明保护不良, 焊缝受到污染, 氧含量超标。

由于富氧 层硬度高、塑性低, 极易在受力时导致表面开裂, 因此封头焊缝的开裂与表面富氧 层有直接的关系。

裂纹源区位于封头吊耳焊缝与环形焊缝叠加焊接的区域。焊缝叠加, 不但使得该处的焊缝外形变得不

(下转第 49 页)

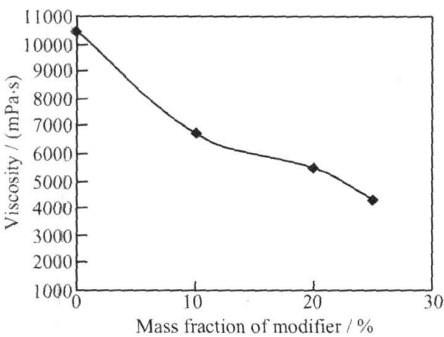


图3 3,3,3-三羟基苯氧基硅烷三缩水甘油醚加入量对BPA环氧树脂粘度的影响

Fig. 3 Influence of 3,3,3-trihydroxydiphenoxymethyl silane triglycidyl content on viscosity of bisphenol A epoxy resin

3 结论

(1) 含酚羟基有机烷氧基硅烷改性剂及3,3,3-三羟基苯氧基硅烷三缩水甘油醚可有效提高环氧树脂浇铸体的韧性,提高其抗开裂指数,降低线胀系数。

(2) 3,3,3-三羟基苯氧基硅烷三缩水甘油醚分子结构中含有三个连在苯环上的环氧基,与环氧树脂具有良好的相容性,在提高环氧树脂的热性能和力学性能的同时,保持较高的玻璃化温度,并可降低双酚系列粘度较高环氧树脂的粘度,尤其适应于采用RTM等

低成本成型工艺制备高性能复合材料对树脂基体的要求。

参考文献

[1] EMEL Y,ISKENDER Y. 1,3-bis(–aminopropyl)tetramethyldisiloxane modified epoxy resins: curing and characterization[J]. Polymer, 1998, 39(8–9):1691–1695.

[2] TSUNG H H, CHUN S W. Modification of epoxy resins with polysiloxane thermoplastic polyurethane for electronic encapsulation[J]. Polymer, 1996, 37(13):2733–2742.

[3] KUMAR S A, NARAYANAN T S. Thermal properties of siliconized epoxy interpenetrating coatings[J]. Progress in Organic Coatings, 2002, 45(4):323–330.

[4] SHICH J Y, HO T H, CHUN S W. Synthesis and modification of trifunctional epoxy resin with amine terminated polydimethyl siloxanes for semiconductor encapsulation application[J]. Journal of Polymer Research, 1996, 3(2):125–131.

[5] HSIUE G H, WEI H F, SHIAO S J, et al. Chemical modification of dicyclopentadiene-based epoxy resins to improve compatibility and thermal properties[J]. Polymer Degradation and Stability, 2001, 73(2):309–318.

基金项目: 国家 863 高技术资助项目(2002AA333140)

收稿日期: 2006-03-13; 修订日期: 2006-11-25

作者简介: 洪晓斌(1972–),女,副教授,主要研究方向为高分子材料合成与改性,联系地址: 湖南国防科技大学材料工程与应用化学系(410073)。

(上接第45页)

规则,使得对接焊缝加厚高过大,从而可形成较大的应力集中。并且叠加焊接,也更加容易形成焊接缺陷,特别是在叠加焊缝的焊趾处^[6,7]。因此,吊耳焊缝与环形焊缝叠加焊接,对裂纹的萌生起到了一定的促进作用。

综上所述,封头在焊接过程中存在保护不良,从而造成了焊缝内表面受到污染,形成氧化层和富氧层。并且吊耳焊缝与环形焊缝叠加焊接,造成了较大的应力集中和较高的残余应力,使得钛合金焊缝在受力时表面开裂,最终造成封头开裂。

3 结论

(1) 封头焊缝开裂主要是由于在焊接过程中焊缝内表面保护不良而形成氧化层及富氧层。

(2) 封头耳朵焊缝与环形焊缝叠加焊接处具有一定的应力集中和相对较高的残余应力,促使了焊缝的开裂。

参考文献

[1] 刘昌奎,刘华. TA15 钛合金焊接接头性能与断裂行为研究[J]. 失效分析与预防, 2006, 5(2):45–48.

[2] 刘昌奎. TA15 钛合金焊接接头疲劳与断裂行为研究[D]. 北京: 北京航空材料研究院硕士学位论文, 2005.

[3] 中国航空工业失效分析中心编著. 金属材料断口分析及图谱[M]. 北京: 科学出版社, 1991.

[4] 陶春虎,刘庆琰,张卫方,等. 航空用钛合金的失效及其预防[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.

[5] 樊宏,李朝光,孙世英,等. 钛合金焊缝表面污染特征的研究[J]. 焊接, 1996, (10):2–6.

[6] 回丽,谢里阳,刘建中,等. TC2 钛合金焊接接头组织与疲劳断裂性能的研究[J]. 航空材料学报, 2004, 24(3):48–51.

[7] 徐志刚,李权,王洪伟,等. 发动机加力燃油总管固定底座焊缝开裂分析[J]. 失效分析与预防, 2006, 8(3):30–32.

收稿日期: 2007-01-10; 修订日期: 2007-03-28

作者简介: 刘华(1969–),男,讲师,主要从事焊接工艺方法等方面的研究,联系地址: 四川德阳四川工程职业技术学院(618000)。