文章编号: 1008-1542(2008)01-0057-03

尿塔断裂金相分析

春燕[1], 杨　杰[2]

(1. 河北化工医药职业技术学院, 河北石家庄　050026; 2. 河北科技大学老干部处, 河北石家庄　050018)

摘　要: 某发生事故的尿塔为多层包扎式筒体, 经过金相组织检查、晶粒度测定和循环变形分析, 认为环焊缝存有焊接缺陷, 在交变应力作用下, 焊接缺陷会萌生裂纹, 并最终导致尿塔断裂失效。

关键词: 多层包扎式筒体; 环焊缝; 焊接缺陷; 失效分析

中图分类号: TQ052.4　　文献标识码: A

Metalurgical analysis of urea synthetic tower's breaking

DING Chun-yan[1], YANG Jie[2]

(1. Hebei Chemical and Pharmaceutical College, Shijiazhuang Hebei 050026, China; 2. Department of the Veteran Cadre, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China)

Abstract: In order to study a broken urea synthetic tower which had multilayer warping cylinder, the paper checked its metallurgical structure, measured its grain size, and analyzed the cyclic deformation. The result shows that the ring weld has weld defects and under alternating stress it will crack, which will finally cause breaking of the urea synthetic tower.

Key words: multilayer warping cylinder; ring weld; weld defects; metalurgical analysis

针对某厂尿塔断裂事故, 笔者进行了多方面调查与分析[1~5], 并从金相分析入手探究尿塔断裂原因。

1　启裂环焊缝分析

1.1　启裂环焊缝硬度调查

焊缝与热影响区在分层面和外表层的硬度(HB)值见文献[1]。

1.2　启裂环焊缝调查分析

启裂环焊缝是发生事故的尿塔上最先进行埋弧自动焊施焊的焊缝, 施工过程中, 当焊至 70 mm 时停止施焊, 进行了射线探伤检查, 然后停留 10 d 再进行外层焊接。而通常要求低合金高强度钢厚壁环焊缝多层焊要连续焊完, 如必须中断时, 应立即进行中间消氢处理。所以, 在启裂环焊缝未焊完之前已诱发延迟微裂纹。

再者, 以启裂环焊缝为中线, 气割 2 块矩形弧板, 为某检测研究中心割取了试样坯。其一弧板为 H_5A, 宽为 500 mm, 长为 800 mm, 在第 4 层与第 5 层层板的环焊缝处出现分层, 且于分层上有大量焊接缺陷, 并有 3 条横向裂纹: 一条长约 30 mm, 另一条裂纹长 250 mm 并与筒体的外表层相贯通, 第 3 条裂纹在焊缝外表面上, 长为 42 mm。于分裂层面尚有许多小裂纹, 走向基本上垂直最大拉伸应力方向, 用放大镜观察到裂

收稿日期: 2007-07-23; 修回日期: 2007-10-10; 责任编辑: 冯　民

作者简介: 丁春燕(1962-), 女, 河北石家庄人, 副教授, 主要从事化工过程原理与设备的教学与研究。

纹扩展且带有枝叉,具有延迟裂纹的特征。而另一弧板为 H_5 B,其宽为 550 mm,长为 1 240 mm,出现的情形与 A 弧板基本相似。

1.3 启裂环焊缝金相显微组织

厚壁筒体的环焊缝采用的是多层埋弧自动焊。多层焊的后一道焊对相邻前一道焊缝的热影响区粗晶区会叠加各种不同的二次热循环。因此,可以把多层焊热影响区看成是一次和二次热循环所造成的各种组织的混合体。因此,多层焊紧靠熔合线的热影响区仍然是环焊缝中的最薄弱的环节。

在此高温度下,奥氏体晶粒将长大,冷却后得到过热组织。其过热程度与高温停留时间、焊接线能量有关;线能量越大,过热现象就越严重。由于环焊缝坡口角度比原设计增大[1],因而焊接熔敷金属量要相应增加,加之层间温度过高,致使环焊缝焊接过程中于高温下停留时间过长;因此,奥氏体晶粒发生严重长大现象,冷却后获得粗大铁素体、魏氏体组织。图 1 为过热区出现魏氏体组织,图 2 为熔合区出现粗大铁素体组织。

图 1 过热区出现魏氏体组织(×100)

Fig. 1 Widmanstatten structure in overheated zone

图 2 熔合区的粗大铁素体组织(×100)

Fig. 2 Coarse ferrite in fusion zone

1.4 晶粒度测定

测定部位选择环焊缝表层,用氧化法显示焊缝金属与母材层板金属的晶粒度,焊缝金属见图 3,层板金属见图 4。它们的检验结果见表 1。

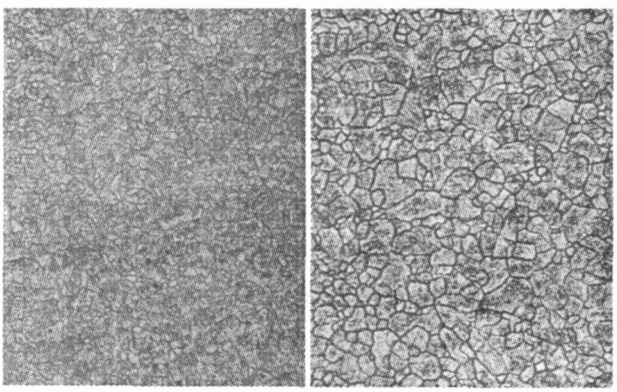

图 3 焊缝金属(×200) 图 4 层板金属(×200)

Fig. 3 Weld metal Fig. 4 Laminate metal

表 1 测定部位的检验结果

Tab. 1 Test result of the weld metal and laminate metal

项 目	焊缝金属	层板金属
已测视场	6	6
平均截点数	152	85
平均晶粒度级别	9.608 021	8.574 798
平均晶粒截距/μm	11.455	16.388
变异系数	0.167 292	0.270 895
置信限	1.004 021	1.750 458

分析结果可知:焊缝金属平均晶粒度约为 9.5 级;层板金属平均晶粒度约为 8.5 级。因而可知环焊缝终层焊后无后热工序,整体在静止空气中自然冷却成为正火状态,由于焊缝较过热区温度高,而焊缝液体金属冷却速度高,故其比层板金属的晶粒度级别要高。两者均有钒化物作为活性质点,使晶粒更加细化,从而晶粒度等级均高。终层焊后无后热消氢措施,致使表面层 20 mm 之内含氢量增高,由于冷却速度大易出现

片状马氏体组织, 尿塔在运行时, 氢连续不断地向三维应力峰值区扩散, 诱发微观裂纹并不停地扩展, 故埋下诱发延迟裂纹的隐患。

热影响区的显微组织主要取决于层板的原始显微组织、层板化学成分、焊接方法、层间温度和线能量。对尿塔筒体的环焊缝来说, 热影响区的显微组织主要取决于焊接工艺参数, 即层间温度和线能量。由于层间温度过高, 就会降低线能量的影响, 因此合理选择层间温度就显得十分重要, 特别是低合金高强度钢更是如此。总之, 由于坡口角度比原设计增大, 而焊接熔敷金属量也要相应增加, 加之层间温度过高, 则在焊接过程中焊缝金属及热影响区在层间温度之上停留时间过长而导致焊缝金属和热影响区晶粒粗大, 出现大块铁素体组织, 甚至出现魏氏体组织。由于熔合区出现粗大铁素体组织, 过热区出现魏氏体组织, 故可以认为尿塔筒体的环焊缝焊接工艺不当。

2　循环变形分析

正常筒体环焊缝的中半径位移为 U_a^p= - 0. 433 307 4 mm, 如层板间隙接近 0. 43 mm 时, 就不恰当, 尿塔运行时其外层板间无预应力; 实际远远超过该值成为窄缝环, 各为 2. 1 mm 和 1. 2 mm。这样相当于筒体局部壁厚减薄, 使启裂环焊缝两侧的筒体结构成不连续段。由筒体缺陷段的变形分析与应力分析[1] 知: 环焊缝-a 壳 i, j 边缘中半径位移为 U_i^a= - 0. 507 421 9 mm 和 U_j^a= - 0. 503 319 3 mm, 两边缘位移差为 4. 103 μm; 而 i, j 边缘的截面转角分别为 V_i^a= 73. 602 66 rad 和 V_j^a= 84. 065 13 rad, 两转角差约为 10. 46 rad; 故启裂环焊缝两边缘出现相对变形。因尿塔所受的载荷是带有交变性质的, 如出厂前的水压实验就是加压与卸压的一次完整循环; 在运行期间起动与停止也是加压与卸压的一次完整循环。尿塔在运行过程中, 由于各种原因所引起的压力或温度有较大波动, 致使工作应力或温度应力有较大的变化, 其与焊接残余应力、拘束应力等相叠加的三维峰值应力也带有交变性质。因之, 筒体的启裂环焊缝出现了循环变形。

焊缝金属中不可避免地存在着各种形式的宏观缺陷和微观缺陷。焊接伴随着冷却过程, 在应力重新分布的同时, 在焊缝金属中必将产生不均匀的塑性变形。在收缩应变作用下, 每个宏观缺陷都将成为一个应力集中源, 其前沿为三维峰值应力区。这是因为高度应力集中使得其超过焊缝金属的屈服极限 σ_y 而进入塑性状态。此外, 微观或亚微观的原始缺陷(如金属中的空穴、间隙原子、位错、晶界空洞等) 。在塑性变形过程中由于位错运动于表面所留下的台阶, 表明循环变形本身也能产生局部的应力集中。位错在晶界前塞积也会产生应力集中。当位错线运动局部被阻, 平面塞积的位错数目越多, 则被挤在阻碍处的位错越紧密, 其应力集中越严重。变形金属中的第二相粒子, 如夹杂物和沉淀相, 由于它们的弹性模量和基体金属不一样, 因而变形过程中不能协调进行。通常夹杂物无塑性变形能力, 其作用相当于一个微裂纹, 因而产生应力集中。总之, 在弹性应力场中, 每一个宏观缺陷和微观缺陷处都将成为应力集中源, 而每一个应力集中源的前沿都是高度应力集中三维峰值应力的塑性区。

3　尿塔断裂分析

当尿塔运行时, 其工作应力、焊接残余应力和拘束应力等相叠加的最大的三维峰值应力诱发微裂, 在循环变形和拉伸应力共同作用下, 微裂逐渐扩展为疲劳微观裂纹, 继而扩展为疲劳宏观裂纹, 直至最终疲劳断裂。另者是: 高度应力集中三维峰值应力的塑性区, 在循环变形的作用下, 环焊缝经历软化或硬化, 其组织与性能都要发生变化。开始时, 这些变化在变形的环焊缝中均匀地发生; 当循环周次达到一定数值时进入稳定状态, 塑性应变的变化将集中在高度应力集中的微观缺陷或宏观缺陷区域中进行, 使该区环焊缝金属发生空隙, 即萌生微观疲劳裂纹。初始萌生的微观裂纹是沿着最大剪应力的滑移面由滑移而扩展, 其中有些微裂纹很快就停止扩展了, 只有部分微裂纹能扩展到一定的长度, 一般为几个晶粒尺寸, 即几十微米 。随着裂纹的增长, 应力强度因子 K_I 增大, 因此就偏离了原来的滑移面而沿着垂直于最大拉应力的方向扩展, 在拉应力作用下逐步扩展成宏观裂纹, 当其达到临界尺寸时便加速扩展, 即迅速沿其开裂至 H_4 和 H_6 两环焊缝处受阻, 塔内大量高压物料由裂口喷射而出, 靠其反作用力裂口向两侧突然外张, 展开时分别沿此两环焊缝撕裂, 将 1# 尿塔断裂成上、中、下 3 段无碎片的残骸: 完整的上段残骸靠物料向后喷射使其斜抛升空, 掠过造粒塔上空而落于土坡下; 中段残骸由于裂口喷射物料的反作用而水平射出, 撞击备用 2# 尿塔后反包其外侧共同倒在地上; 下段残骸倒于基座旁边。

(下转第 **68** 页)

$$\boldsymbol{D}=\begin{bmatrix}3.1381 & 0\\ 0 & 3.1381\end{bmatrix},\ e=6.4268,\ e_0=7.0880,\ e_1=10.0026,$$

$$\boldsymbol{X}_{11}=\begin{bmatrix}5.4339 & -0.3170\\ -0.3170 & 4.3846\end{bmatrix},\ \boldsymbol{X}_{22}=\begin{bmatrix}5.0355 & -0.2262\\ -0.2262 & 4.6515\end{bmatrix},\ \boldsymbol{X}_{33}=\begin{bmatrix}1.5043 & 0.0446\\ 0.0446 & 3.6025\end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{X}_{12}=\begin{bmatrix}-0.8554 & -0.0809\\ -0.0266 & -2.6359\end{bmatrix},\ \boldsymbol{X}_{13}=\begin{bmatrix}-0.5215 & -0.0447\\ -0.1494 & -2.0455\end{bmatrix},\ \boldsymbol{X}_{23}=\begin{bmatrix}0.7167 & -0.0391\\ 0.1124 & 1.5985\end{bmatrix},$$

所以本例中的神经网络是鲁棒渐近稳定的。

3 结 论

本文对考虑了一类同时带范数有界参数的参数不确定和时滞神经网络的稳定性问题。考虑的时滞是随时间变化而变化的非线性函数。而参数的不确定性是在一定范围内范数有界的。利用李亚普诺夫稳定性设计相应的 Lyapunov-Krasovskii 函数根据线性矩阵不等式理论得出了时滞相关的鲁棒稳定性的充分条件。最后用一组数值例子说明所得定理结论的的正确性。

参考文献:

[1] HE Yong, WANG Qing-guo, ZHENG Wei-xing. Global robust stability for delayed neural networks with polytopic type uncertainties[J]. Chaos, Solitons and Fractals, 2005, (26): 1 349-1 354.

[2] ZHANG Hong-bin, LI Chun-guang, LIAO Xiao-feng. A note on the robust stability of neural networks with time delay[J]. Chaos, Solitons and Fractals, 2005, (25): 357-360.

[3] ZHANG Hong-bin, LIAO Xiao-feng. LMI-based robust stability analysis of neural networks with time-varying delay[J]. Neuro Computing, 2005, (67): 306-312.

[4] ZHANG Hong-bin, LI Chun-guang, LIAO Xiao-feng. A note on the robust stability of neural networks with time delay[J]. Chaos, Solitons and Fractals, 2005, (25): 357-360.

[5] CHEN Wu-hua, GUAN Zhi-hong, LU Xiao-mei. Delay-dependent exponential stability of uncertain stochastic systems with multiple deays: an LM2 appronch[J]. Systems and Control Letters, 2005, (54): 547-555.

[6] BARMISH B R. Necessary and suffiaient conolitions for quaolratir stability of an uncertain system[J]. J Oplim Theory Appl, 1985, (46): 399-408.

(上接第 **59** 页)

4 结 语

国内外压力容器的大量断裂失效情况证明, 裂纹隐患的存在、焊接接头韧性降低以及其他缺陷的存在等, 是导致脆断事故的主要原因。这些大多是焊接工艺不妥、设计不当或制作质量低劣而造成成千上万次的灾难性事故。20 世纪 50 至 60 年代出现了大量工业先进国家制造的压力容器爆裂事故, 经过反复分析、研究, 找到了解决的办法并提出相应的对策, 如美国从 1968 年颁布设计、制造许可证以来, 事故急剧下降, 事故率小于 1‰, 接近于零。因此, 对设计、制造压力容器的单位进行严格要求是正确而必要的。而中国 1981 年发放设计、制造压力容器许可证, 并由上级派出驻厂专职监督人员, 但其后灾难性事故依然不断, 这值得人们深思! 失效分析不是追究责任, 而是找到尿塔断裂失效原因, 杜绝类似事故再次发生。

参考文献:

[1] 丁春燕, 杨 杰. 尿塔物理断裂失效分析[J]. 河北工业科技, 2008, 25(1): 21-23.

[2] 王云程, 丁春燕, 杨 杰. 筒体缺陷区的应力分析[J]. 河北科技大学学报, 1999, 20(1): 42-46.

[3] 丁春燕, 王云程, 张一兵, 等. 厚壁筒体环焊缝冷裂纹评定[J]. 河北工业科技, 1998, 15(1): 23-25.

[4] 黄雪琴, 王振辉, 李延杰, 等. 尿塔断裂失效分析[J]. 河北科技大学学报, 2003, 24(1): 80-85.

[5] 黄雪琴, 王振辉, 丁春燕, 等. 尿塔断裂物料能量估算[J]. 河北科技大学学报, 2004, 25(1): 69-72.