

热壁加氢反应器深厚焊缝的 TOFD 检测技术

陈建玉¹, 袁 榕²

(1. 兰州石油化工机器厂 炼化设备公司, 甘肃 兰州 730000;

2. 合肥通用机械研究所 压力容器检验站, 安徽 合肥 230031)

摘要:热壁加氢反应器是一种具有复杂结构的设备, 本文对热壁加氢反应器深厚焊缝的 TOFD 检测技术进行分析和探讨, 具有一定的指导意义。

关键词:热壁加氢反应器; 深厚焊缝; TOFD 检测技术

中图分类号: TQ052; TG115.28 文献标识码: B 文章编号: 1001-4837(2004)08-0046-03

TOFD Technology for Thick-wall Weld of Thermal Walled-hydrogenation Reactors

CHEN Jian-yu¹, YUAN Rong²

(1. Lanzhou Petroleum & Chemical Machinery Works, Lanzhou 730000, China;

2. Hefei General Machinery Research Institute, Hefei 230031, China)

Abstract: The thermal walled-hydrogenation reactors has a complex structure. The article analysed and described in detail the TOFD technology for thick-wall weld of thermal walled-hydrogenation reactors, and has a certain guiding significance.

Key words: thermal walled-hydrogenation reactor; thick-wall weld; TOFD technology

1 热壁加氢反应器深厚焊缝主要检测技术的特点

热壁加氢反应器主焊缝一般采用多层焊道窄间隙埋弧自动焊工艺, 坡口为 I 型, 单侧坡口角度一般小于等于 2°, 主体材料对成型、焊接、热处理的温度控制要求比较苛刻, 制造时常见的裂纹和未熔合缺陷一般垂直于检测面。同时由于使用时又面临着介质腐蚀、应力腐蚀、氢腐蚀、氢脆、回火脆化和蠕变脆化等一系列问题, 因此对主焊缝的检测质量要求就变得十分突出。目前热壁加氢反应器深厚焊缝采用的主要无损检测方法为射线检测和超声检测^[1,2]。

1.1 射线检测

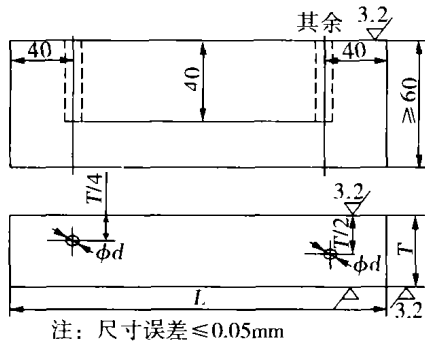
热壁加氢反应器主焊缝主要采用射线检测, 由于热壁加氢反应器一般可分为板焊结构和锻焊结构

两种, 板焊结构热壁加氢反应器壁厚在 80 ~ 120 mm, 通常采用 1 ~ 4 MeV 直线加速器进行检测; 锻焊结构的容器壁厚在 180 ~ 240 mm, 也有更厚的, 如神华煤化工项目采用的热壁加氢反应器壁厚要达到 336 mm, 通常采用 9MeV 或更大能量的直线加速器进行检测。目前 JB4730—94《压力容器无损检测》标准的壁厚检测范围为 2 ~ 250 mm, 正在修订的 JB4730 标准已将壁厚检测范围扩大至 2 ~ 400 mm, 基本上可满足热壁加氢反应器主焊缝的射线检测要求。热壁加氢反应器主焊缝射线检测主要采用高梯度噪声比的胶片 (T₁、T₂、天津 V 型等), 由于国内胶片的层次性比较差, 这类焊缝的检测主要采用进口胶片 (如 AgfaD2、D3、KodakR、SR 等)。当前国内对热壁加氢反应器深厚焊缝的射线检测主要执行 JB4730

标准。

1.2 超声检测

由于热壁加氢反应器主焊缝采用窄间隙焊,常见的裂纹和未熔合缺陷一般垂直于检测面,对于这种情况射线检测的灵敏度不是很高,而超声检测由于对裂纹类面状缺陷比较敏感、可以选择不同 K 值的探头和不同的组合方式,因此公认是一种比较好的检测方法。尤其是在在用热壁加氢反应器的定期检验中,由于无法采用射线检测,超声波检测自然成为深厚焊缝检测的首选。板焊结构热壁加氢反应器通常采用 CSK - I A、CSK - III A 试块校核主焊缝检测灵敏度;锻焊结构热壁加氢反应器的壁厚比较大,一般的超声波检测试块已不能满足要求,因此需采用 CSK - IV A 试块,详见图 1 和表 1。



L: 试块长度, 由使用的声程确定
图 1 CSK - IV A 试块结构图

表 1 CSK - IV A 试块尺寸 (mm)

CSK - IV	被检工件厚度	对比试块厚度 T	标准孔位置 b	标准孔直径 E
No. 1	> 120 ~ 150	135	$T/4, T/2$	6.4 (1/4 in)
No. 2	> 150 ~ 200	175	$T/4, T/2$	7.9 (5/16 in)
No. 3	> 200 ~ 250	225	$T/4, T/2$	9.5 (3/8 in)
No. 4	> 250 ~ 300	275	$T/4, T/2$	11.1 (7/16 in)
No. 5	> 300 ~ 350	325	$T/4, T/2$	12.7 (1/2 in)
No. 6	> 350 ~ 400	375	$T/4, T/2$	14.3 (9/16 in)

通常对超声扫查区域进行 100% 直探头扫查,然后利用多个 K 值探头进行重复扫查,必要时还应采用串列扫查,以更好检出垂直表面的裂纹和未熔合缺陷。但由于目前串列扫查机械装置还不过关,只能对关键部位进行一定数量的手工抽查,因此目前在 JB4730 标准中对此未作强制性规定。

2 超声 TOFD 检测技术

随着我国经济和科技的发展,大直径厚壁压力容器日益增多,对厚度超过 200 mm 的压力容器焊缝

的射线检测已成为约束压力容器制造的瓶颈,尤其是对现场组焊的厚度超过 200 mm (甚至达到 336 mm) 的压力容器焊缝实施射线检测,不仅费用昂贵(需在现场置备直线加速器),而且从安全角度考虑几乎是不可能的。因此 TOFD 技术的应用对国内大型压力容器的制造发展具有重要意义,且具有必要性和紧迫性。

2.1 超声 TOFD 法的原理

超声 TOFD 法即衍射波时差法 (Time of Flight Diffraction Technique), 是 20 世纪 70 年代由英国哈威尔无损检测中心首先提出的。它是依靠超声波与缺陷端部的相互作用发出的衍射波来检出缺陷并对其进行定量的。超声波入射到线形缺陷时,在缺陷的两端除普通的反射波外还会产生衍射波,衍射能量可以在很大角度范围内传播并且都源于缺陷的端部,这与传统的超声检测完全不同。传统超声检测主要依靠从缺陷上反射的能量的大小来判断缺陷,从理论上讲,超声 TOFD 法克服了常规超声探伤的一些固有缺点,缺陷的检出和定量不受声束角度、探测方向、缺陷表面粗糙度、试件表面状态及探头压力等因素的影响。

TOFD 技术主要采用一发一收的方式,通常使用压力探头其反射角范围是 $45^\circ \sim 70^\circ$ (见图 2),发射探头发射横向纵波。沿表面传播的一束声波和工件背面的镜面反射被接收探头接收,形成固有参考信号。焊缝中的横向纵波遇到缺陷后在缺陷尖端产生衍射波,如果缺陷有足够的自身高度,缺陷两端点的信号在时间上将是可分辨的,根据所记录的衍射信号传播时差就可以判定缺陷高度的量值。

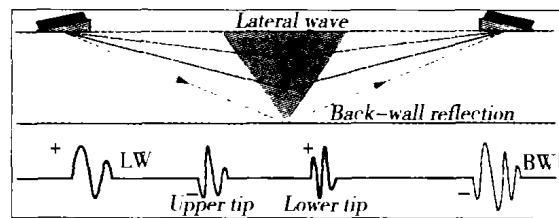


图 2 TOFD 原理

2.2 国内热壁加氢反应器深厚焊缝 TOFD 技术的使用情况

1993 年,英国 BS7706 标准中规定了用 TOFD 法进行缺陷定量评价的具体程序和要求。1996 年,美国 ASME 规范在案例 2235 中对 TOFD 法检测压力容器和动力锅炉焊缝的方法和验收条件作出了详细规定。1999 年 ASME 规范修订版中,明确提出允许在

UT 中用 TOFD 法取代 RT。2000 年 ASME 规范第 I 卷(动力锅炉)也允许用 UT 取代 RT,用 TOFD 法记录焊缝检测结果。2000 年欧共体也在英国标准 BS7706:1993 基础上,制订了有关焊缝 TOFD 法检测的现行标准 ENV583-6:2000《超声衍射波时差法用于缺陷检出和定量》。

国内目前也在开展深厚焊缝 TOFD 检测技术的试验研究,主要采用下列技术路线:即 TOFD 技术 + 爬波(CW)扫查 + 脉冲回波(RASTER)扫查(PE),其中以 TOFD 技术作为检测主体技术,以 TOFD 与爬波结合应用探测近表面缺陷,以 RASTER 作为缺陷识别和定位的辅助技术。根据试验研究情况,TOFD 检测技术具有以下特点:

(1)TOFD 技术对埋藏缺陷的检测具有较高的可靠性,缺陷检出率达到了 87%;

(2)对危害性较大的面积型缺陷和尺寸超标的大缺陷的检测有很高的可靠性,尤其是对未熔合检出率很高,因此 TOFD 技术在深厚窄间隙焊缝中应用,可以保证垂直方向上未熔合的检出,不需再作专门检测垂直方向上未熔合的串列扫查探伤;

(3)对未熔合缺陷的高度测量具有很高的精度;

(4)在定性方面,该技术对缺陷的性质有一定判断能力。

综上所述,TOFD 技术在热壁加氢反应器深厚焊缝中的应用具有较好的前景。通过进一步研究和若干改进,在大厚度焊缝(200 mm 以上)中有望取射线检测。

(上接第 7 页)大小等因素的变化。通过试验发现,堆焊时,电极在筒体中的位置会影响到熔池的流动,并对焊接过程的稳定性及焊道成形有较大影响,尤其是贴合率的影响更大,应该注意调整。其它参数变化不大,证明该技术具备了生产应用的条件。

将上述模拟试验和工艺评定的结果相结合,在制造长岭炼厂的高压分离器时,成功地应用了该技术,先后堆焊了 $\varnothing 1800 \text{ mm} \times 5400 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ 筒体一节和两个 $\varnothing 1800 \text{ mm}$ 球形封头。堆焊层厚度 $\delta = 4.5 \sim 5 \text{ mm}$, UT、PT I 级合格,铁素体含量(磁性法): $8\% \sim 9\%$, 各项指标全部合格。

7 结语

(1)针对设计院新的技术条件,开发的电渣型带

3 TOFD 检测技术目前存在的一些问题

(1)TOFD 技术定性准确性不高,且受人的因素影响较大,信号处理和成像的性能有待进一步改进,以提高缺陷定性准确性。

(2)对自然裂纹、表面和近表面缺陷、横向缺陷检出的评价依据不够充分,对圆形缺陷和小条形缺陷的定量误差较大,其误差为正偏差,即测量长度大于实际长度。

(3)目前 TOFD 技术在缺陷定位方面还存在一定的误差和盲区(如不能判断缺陷在窄间隙焊缝中距焊缝中心线的位置等、对有些点状缺陷容易产生漏检),必要时综合运用其它无损检测技术。

(4)目前的 TOFD 检测设备不具备信号分析评定能力,缺陷识别、定性定量、定位、定级仍由探伤人员进行。不同人员对信号的解释存在差异,因此理论和实践的培训和人员资格鉴定考核是必要的。

参考文献:

- [1] 吴宗烈. 加氢反应器的国产化[J]. 压力容器, 1991, 8(2): 22-25.
- [2] 林建鸿, 柳曾典, 吴东棣. 热壁加氢反应器运行安全问题及其保障技术[J]. 压力容器, 1994, 11(3).

收稿日期: 2004-07-26

作者简介: 陈建玉, 高级工程师, 1986 年浙江大学化机专业毕业, 现任兰州石油化工机器厂炼化设备公司总工程师, 中国机械工程学会压力容器分会理事。

极堆焊工艺在技术上是可行的, 较好地应用到实际产品生产中, 效果良好。

(2)电渣型单层带极堆焊技术, 对焊接材料及工艺参数的要求十分苛刻, 应当予以严格控制。

参考文献:

- [1] BECQ-9301/A1, 铬钼钢压力容器内表面单层不锈钢堆焊层技术条件[S]. 1993.
- [2] 锻焊结构热壁加氢反应器内壁不锈钢堆焊临氢剥离研究报告[R]. 钢铁研究总院, 1990.

收稿日期: 2004-07-27

作者简介: 胡希海(1969-), 大学本科, 高级工程师, 通讯地址: 辽宁省抚顺市城区新城路中段 50 号抚顺机械制造有限公司焊接试验室。