

# 厚板对接焊缝无损检测方法探讨

唐亮萍

(湖南省特种设备检验检测研究院 湖南 长沙 410000)

**摘要:** 结合检测案例和各检验标准中无损检测方法选择要求,对厚板对接焊缝无损检测主要方法应用和局限性进行对比分析,最后得出,对厚板对接焊缝,尤其是采用裂纹敏感材质的,建议取消 RT 检测,采用 TOFD 和 UT 结合,附加 MT 或 PT 检测近表面盲区的方法,必要时可采用其它无损检测方法加以验证的结论。

**关键词:** 厚板;对接焊缝;无损检测方法

## 0 引言

随着我国工业制造水平的不断进步,出现了越来越多的高参数特种设备,尤其是厚板对接焊缝广泛应用到高参数特种设备的制造中,为保证特种设备安全可靠运行,对其焊缝的无损检测也提出了更高的要求。常用的无损检测方法有射线检测(RT)、脉冲反射法超声波检测(UT)、衍射时差法超声波检测(TOFD)以及声发射检测(AE)等,在相应设备的检验检测标准中作出了具体的规定,但在实际的检验检测应用中,经常会出现缺陷漏检或缺陷定性定量不准确的问题,如果因为这些缺陷失效发生泄漏或爆炸事故,将带来巨大的灾难。本人结合厚板对接焊缝检测的实际案例,分析对比不同无损检测方法的应用特点,对不同无损检测方法在厚板对接焊缝检测的组合应用进行探讨。

### 1 各检验标准中无损检测方法选择要求

(1) TSG21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》规定,压力容器的对接接头应当采用射线或超声检测,超声检测包括脉冲反射法超声波检测(UT)和衍射时差法超声波检测(TOFD),当采用不可记录的脉冲反射法超声波检测时,还应当采用射线检测或者衍射时差法超声波检测进行附加局部检测;当大型压力容器的对接接头采用 $\gamma$ 射线全景曝光射线检测时,还应当另外采用X射线检测或者衍射时差法超声波检测进行50%附加局部检测,如果发现超标缺陷,则应当进行100%X射线检测或者衍射时差法超声波检测复查。

(2) TSG D0001-2009《压力管道安全技术监察规程》规定,名义厚度小于或者等于30mm的管道,对接接头采用射线检测,如果采用超声检测代替射线检测,需要取得设计单位的认可,并且其检测数量应当与射线检测相同,管道名义厚度大于30mm的对接接头可以采用超声检测代替射线检测。

(3) TSG G0001-2012《锅炉安全技术监察规程》规定,无损检测主要采用射线(RT)、超声(UT)、磁粉(MT)、渗透(PT)等检测方法,当选用衍射时差法(TOFD)时,应当与脉冲回波法(PE)组合进行检测,检测结论以TOFD与PE方法的结果进行综合判定。壁厚小于20mm的焊接接头应当采用射线检测方法,壁厚大于或等于20mm时,可以采用超声检测方法,超声检测仪宜采用数字式可记录仪

器,如果采用模拟式超声检测仪,应当附加20%局部射线检测。

## 2 检测案例

(1) 某厂一台氨冷器的制造过程中,对该设备的封头与管板的对接焊接接头(焊接接头的工艺参数见表1),采用Co60- $\gamma$ 射线,源在内中心透照方法进行检测,检测技术等级AB级,合格级别II级,检测标准NB/T47013.2-2015,未检出超标缺陷,检测结论合格,射线底片见图1(a)。按有关标准规范要求,不需要进一步复查。由于壁厚较大,为防止缺陷漏检,制造厂使用探头型号2.5P13 $\times$ 13K1,2.5P13 $\times$ 13K2,外面双侧,内面单侧方法对该焊接接头进行UT检测,检测技术等级B级,合格级别I级,检测标准NB/T47013.3-2015,经检测,发现距焊缝表面深度74.7mm处,一条长152.3mm的超标缺陷。为验证缺陷的客观真实性,采用TOFD检测技术对该焊接接头重新进行了检测,检测技术等级B级,合格级别II级,检测标准NB/T47013.10-2015,同样发现了该条超标缺陷,TOFD检

表 1 焊接接头的工艺参数

封头材质、厚度	管板材质、厚度	坡口形式	焊接方法
Q345R、100mm	20MnMolV、115mm	X型	SMAW+SAW

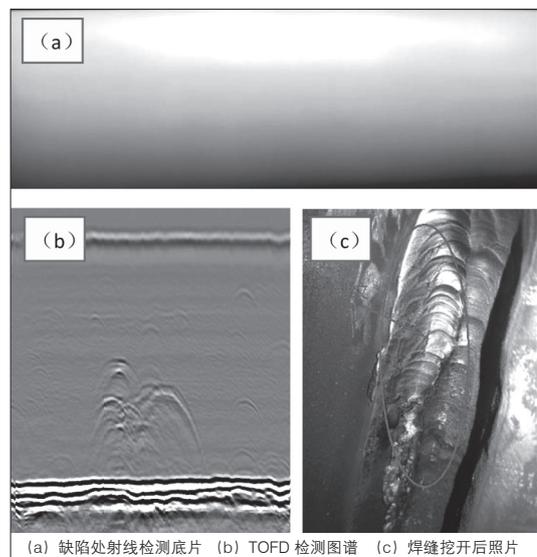


图 1 案例 1 缺陷照片

测图谱见图 1 (b)。按 TOFD 显示缺陷位置，将焊缝挖开，找到了一条长为 158mm 的裂纹，焊缝挖开后照片见图 1 (c)。

(2) 某厂 1 台水分离器的制造过程中，对该设备的封头与筒体的对接焊接接头(焊接接头的工艺参数见表 2)，采用 Ir192- $\gamma$  射线，源在内中心透照方法，同上案例检测标准，未检出超标缺陷，检测结论合格，射线底片见图 2 (a)。按有关标准规范要求，也不需要进一步复查。为防止缺陷漏检，制造厂使用同上案例的探头和检测标准，双面单侧方法对该焊接接头进行 UT 检测，经检测，在焊缝热影响区位置，距焊缝表面深度 34.6mm 和 36.8mm 处，分别找到一条长度为 15.2mm 和 7.6mm 的超标缺陷。同时采用 TOFD 检测技术对该焊接接头重新进行了检测，检测标准同上案例，同样发现了这两条超标缺陷，TOFD 检测图谱见图 2 (b)。按 TOFD 显示缺陷位置，将焊缝挖开，找到这两条长度分别为 15.8mm 和 7.2mm 的裂纹，焊缝挖开后照片见图 2 (c)

表 2 焊接接头的工艺参数

封头材质、厚度	筒体材质、厚度	坡口形式	焊接方法
Q345R、52mm	Q345R、46mm	X 型	SMAW+SAW

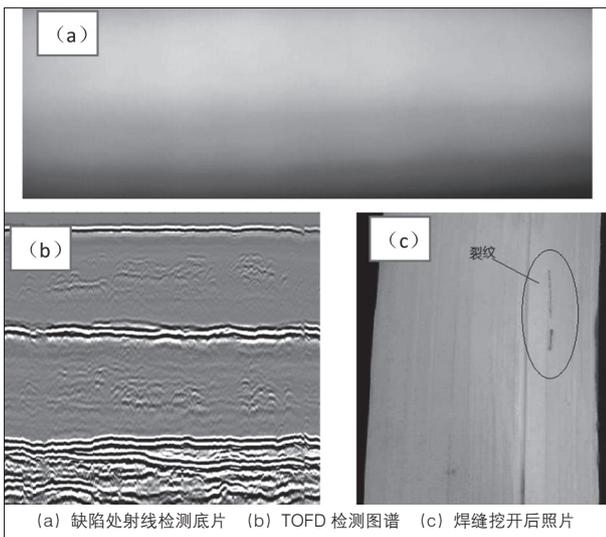


图 2 案例 2 缺陷照片

### 3 厚板对接焊缝无损检测方法应用对比分析

(1) 射线检测 (RT)，是传统的检测方法之一，检测的基础理论和检测工艺都比较成熟，应用非常广泛。尽管具有检测成本高，辐射大，效率低等弊端，但仍被广大用户所接受，可见大家对 RT 检测信任程度高；经过一个世纪的发展，已经成为较先进的数字技术，如射线照相检验技术、射线实时成像检验技术以及射线层析检测技术等。但是在对厚板对接焊缝检测中，RT 也遇到很难突破的瓶颈，超标缺陷漏检情况时有发生。如本文两案例中，裂纹这种危险性缺陷被漏检。漏检的原因主要是两个方面，一是检测工艺及设备选择，如射线源能量，焦距，胶片质量选择不当等；在本文案例中，采用的  $\gamma$  射线为线状谱，其能量不可调节，在大多数情况下得不到最佳的对比度，而且其曝光时间相比于 X 射线成倍增加，这样导致  $\gamma$  射线的照相灵敏度和成像

质量远不如 X 射线；部分可通过调整工艺参数或提高灵敏度，降低漏检率。二是被检工件规格或缺陷自身形态等原因，如裂纹对工件表面法线倾角大、裂纹开口宽度小及形状等原因，造成裂纹影像的对比度下降，使其难以检出；工件厚度对检测也有明显的影响，工件厚度越大，散射比越大，射线照相的对比度就降低，固有不清晰度和颗粒度增大等，厚工件射线照相，不仅小裂纹检出率低，即使较大尺寸裂纹，也可能因为细节显示不清而发生漏检或误判。这是射线检测本身的局限所致，目前看来还没有可靠的解决方法。《固定式压力容器安全技术监察规程》《压力管道安全技术监察规程》《锅炉安全技术监察规程》中对厚板对接焊缝无损检测，都可只采用 100%RT 检测，不需其它方法复检，如合格，则判定无损检测合格。这对厚板对接焊缝，尤其是采用裂纹敏感材质的，留下了漏检的隐患。

(2) 超声检测 (UT)，只要检测前制定出合适的 DAC 曲线，其检测缺陷的能力基本不受工件厚度的影响。根据不同材质、厚度的工件，选择合适的探头和工艺参数，或增加探头进行组合检测，严格执行检测工艺，提高检测人员水平和责任心，对裂纹等超标缺陷的检出率很高，并且检测灵活，成本低，比射线检测更加可靠高效，可以有效控制厚板的内部焊接质量。其缺点为显示不够直观，对检测人员技术水平和经验要求高，并且无原始数据保存，目前可记录超声波检测仪器已有研发应用，应加快推广。

(3) 衍射时差法超声波检测 (TOFD)，这是一种相对较新的检测技术，现在应用越来越多，其可靠性也逐步提高，可以准确测量缺陷尺寸和高度。TOFD 采用一个发射探头，一个接收探头在焊缝两侧，当有缺陷时，接收探头会接收到缺陷上端点和下端点的衍射波，显示于表面波和底面反射波之间，其优越性表现在：一次扫查几乎能够覆盖整个焊缝区域(除上下表面盲区)，可以实现非常高的检测速度；可靠性好，对于焊缝中部缺陷检出率很高，能够发现各种类型的缺陷；采用 D-扫描成像，缺陷判读更加直观；对缺陷垂直方向的定量和定位非常准确，精度误差小于 1mm；和脉冲反射法相结合时检测效果更好，覆盖率 100%。其局限性为：近表面存在盲区，对该区域检测可靠性不够，需加做 MT 或 PT；对缺陷定性比较困难，建议与 UT 方法结合检测，可对检出缺陷进行表征定性；对粗晶材料，检出比较困难；对复杂几何形状的工件比较难测量；对图像判读需要丰富经验，并对细小气孔夹渣等缺陷也非常灵敏，易造成误判。TOFD 检测不受焊缝厚度限制，能准确地检出裂纹、未熔合等危险缺陷，在本文案例及工作实际中得到证实，TOFD 在厚板检测中有较高的可靠性。

### 4 结语

综上所述，以上三种焊缝无损检测方法都有其客观存在的合理性，也各自存在一定的局限性。在实际的工作中，应在正确理解和执行标准规范的前提下，充分了解检测设备现状和人员技术状况，充分利用检测设备资源和检测人力资

(下转第 127 页)

在加强机械设备管理工作的过程中,最有效的方式就是结合企业生产经营的项目特点,建立完善的内部管理制度。对员工取用设备的行为进行详细记录,在设备使用完成后,对设备是否存在破损或者功能故障问题进行检查。通过这种方式落实责任管理机制,可以引导员工自觉端正自身对设备的操作行为,避免由于人为因素造成设备损坏。同时,基于不同设备有不同的操作技巧,企业还需要对员工的设备操作能力进行考察,定期进行集中培训,确保设备的使用价值能够得到充分的发挥。

另外,企业应当应用信息技术手段记录设备的采购时间、使用频率,判断设备的使用寿命。并及时根据工作需求采购新设备,保障生产加工工作能够顺利开展。最后,设备从最初的启用阶段到最终的报废阶段,要有一个系统的记录,设备变动状况、更新状况应以完善的账务手续为前提。采取设备台账与实物相结合的管理方法,在节约管理效率的同时,降低管理成本。

#### 3.4 其他管理要点

企业想要保证自身的利益,不能仅注重眼前的蝇头小利,而应站在长远发展的角度进行考虑。首先,应当重点提高维修人员的节约环保意识,避免出现浪费的情况,从而减少维修费的增加。对于那些能够对零部件进行二次使用的人员,应给予适当的奖励。这是由时代发展需求所决定的,新时期国家出台了許多节能环保的政策,企业想要顺应时代的发展潮流,就需要在日常管理工作中融入环保理念。其次,传统的管理方案已经无法适应企业新时期的生产建设需求,在这种情况下,企业应当鼓励管理团队展开创新研究,目的是全面提高管理工作水平,有效提高企业的经济效益。

## 4 结语

加强冷轧机械设备的管理工作,不仅会对设备的使用质量和安全产生积极的影响,延长设备使用寿命,降低维修及养护成本。而且可以提高项目生产效率,给企业带来可观的经济收益。这就要求相关企业能够在内部建立严格的管理机制,做好对设备采购、存储和使用等各个方面的管理工作,可以应用信息技术手段为每个设备建立专用档案,了解设备的使用情况,定期展开维修保养工作。必要时应及时更换新型设备,避免影响生产加工工作的开展进度。

#### 参考文献:

- [1] 关建辉,孟静,钱京学,常帅,陈嘉宇.冷轧带钢边部锯齿边缺陷分析与改进[J].热处理技术与装备,2020,(03).
- [2] 张春杰,宋征.冷轧带钢卷内凸缺陷的分析与研究[J].金属世界,2020,(04).
- [3] 胡早勇,胡黎明,叶有鹏.连续酸洗技术在冷轧带钢中的应用[J].江西冶金,2001,(02).
- [4] 全国冷轧带钢设备与工艺新技术研讨会在沪举行[J].重型机械,1991,(04).
- [5] 王田惠,吕超杰,王凤强,程帅.冷轧带钢表面白色缺陷成因与控制[J].河北冶金,2020,(11).
- [6] 王永杰.冷轧带钢常见原料缺陷浅析[J].中国金属通报,2018,(11).
- [7] 冯帆,彭良贵,张殿华.冷轧带钢温度演变及影响因素研究[J].轧钢,2019,(05).

作者简介:江大伟(1982.06-)汉族,男,河北唐山人,本科,工程师,研究方向:机械。

(上接第125页)

源,根据被检设备的材质、厚度、结构等选择合理的无损检测方法。对一般材质的薄板焊缝多采用RT方法检测,对厚板对接焊缝,尤其是采用裂纹敏感材质的,建议取消RT检测,采用TOFD和UT结合,附加MT或PT检测近表面盲区的方法,必要时可采用其它无损检测方法加以验证。当交叉验证发现疑难,切莫随意放过,决不能让带有裂纹等严重隐患的超标缺陷的特种设备,进入使用环节。

#### 参考文献:

- [1] TSG21-2016,固定式压力容器安全技术监察规程[S].
- [2] TSG D0001-2009,压力管道安全技术监察规程[S].

[3] TSG G0001-2012,锅炉安全技术监察规程,[S].

[4] 强天鹏.射线检测[M].北京:中国劳动社会保障出版社,2007.

[5] 吴国忠,崔伟.对射线检测之中缺陷漏检分析[J].科技创业月刊,2015:117~119.

[6] 袁涛,等.TOFD超声成像检测技术在压力容器检验中的应用[J].化工管理,2016:58~61.

作者简介:唐亮萍(1984.10-),女,汉族,湖南长沙人,硕士,工程师,研究方向:压力容器检验。