

不锈钢堆焊层测厚方法

邓显余, 吕学娟, 孙绍艳, 高凤滨
(哈尔滨锅炉厂有限责任公司, 哈尔滨 150046)

Thickness Measurement of the Stainless Steel Cladding Layer

DENG Xian-Yu, LV Xue-Juan, SUN Shao-Yan, GAO Feng-Bin
(Harbin Boiler Co Ltd, Harbin 150046, China)

中图分类号: TG115.28

文献标识码: B

文章编号: 1000-6656(2008)07-0464-03

随着我国机械工业的飞速发展,在各种大型设备(如核电、加氢反应器、大型化工设备等)生产制造过程中,采用奥氏体不锈钢和镍基合金堆焊而形成耐腐蚀层的产品越来越多。由于基材厚度的增大和产品几何形状的多样化,很难用卡尺、千分尺等测量工具准确测得堆焊层的厚度。在没有相应标准和具体方法的前提下,如何检测堆焊层的厚度已经是无损检测工作者的当务之急。笔者基于巴基斯坦30万kW核电蒸汽发生器的测厚经验,总结了两种实际测厚方法,以供同行借鉴和参考。

1 界面波测厚法

1.1 原理

两种不同的钢材焊接后,由于材质声阻抗的不同,在其结合面上存在一定量的反射回波,其遵循反射率 $r=(Z_2-Z_1)/(Z_1+Z_2)$ 。界面波测厚法是利用界面反射回波在堆焊层中的传播时间来确定堆焊层厚度的方法。

1.2 仪器、探头和试块的选择

1.2.1 仪器

可使用超声波数字探伤仪或模拟探伤仪。探头选择性能优异(阻尼块对余振杂波吸收好、晶片发射声波能量大)、指向性好(声束轴线不得偏离中心)的单、双晶直探头。依据探头声束指向角公式 $\theta=70\lambda/D$ (λ 为超声波波长, D 为晶片直径)可得,频率高、波长短则指向性好;晶片尺寸大则指向性好,界

面波回波也大。但频率高,波长短,声能衰减大,近场区增大,干扰增多;晶片尺寸大,与工件表面接触增大,耦合也不理想。试验选取频率4~6 MHz,晶片尺寸 $\phi 10\sim 20$ mm(最好 $\phi 14$ mm)的直探头。

1.2.2 试块的要求

选择与工件相同的材质、焊接材料、焊接方法以及热处理工艺制作试块。图1试块的材料全部由堆焊材料焊接而成。图2试块平底孔最少三个,孔径可为 $\phi 2, 3$ 和4 mm任选,三个孔深最好以整数倍递增,试块尺寸可视具体情况而定,只要中间阶梯(孔)深度与被检测厚度相近,其它两阶梯(孔)能涵盖堆焊层厚度上下变化,宽度大于所选探头声场直径即可。两种试块中笔者更倾向于阶梯试块,其原因是奥氏体不锈钢和镍基合金粘度值和硬度值较大,机械加工时很难保证尺寸精确。

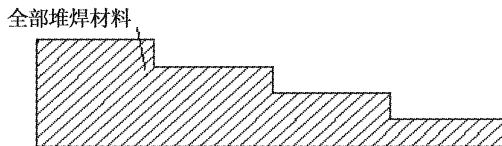


图1 阶梯试块

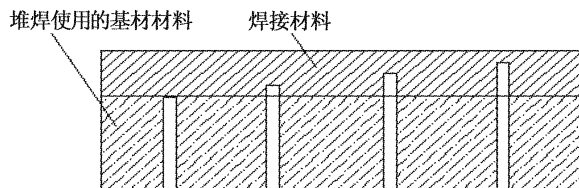


图2 平底孔试块

收稿日期: 2007-01-27

作者简介: 邓显余(1957—),男,技师,从事无损检测工作。

1.3 仪器的调节

以数字探伤仪为例说明仪器的调节过程。

1.3.1 校准纵波声速

(1) 仪器和直探头确定后, 设置好仪器的各项参数, 探头置于图 1 试块有一定厚度的平面上。

(2) 自动校准材料的声速及探头的零点一次 (注意: 双晶直探头没有声速自动校准功能)。

(3) 自动校准的声速及探头的零点值还不是最终结果, 适当增大仪器的范围和增益等, 以能出现最少三次清晰底波为准。适当调节闸门宽度和起始位置, 让各次底波分别进入闸门, 并分别读出回波声程值。如果每次回波显示数值增加都是试块厚度的倍数, 说明声速值输入正确。如果每次回波显示数值都与试块厚度的倍数不符, 说明声速值不准确。适当调节仪器声速参数值后, 再重复步骤(3), 直到几次回波显示值都与试块厚度值相符。

1.3.2 校准探头的零点

校准声速后, 将探头置于图 1 试块有一定厚度的平面上, 适当调节闸门宽度和起始位置, 让一次底面回波进入闸门, 适当调节仪器的增益, 使底面回波幅度为满幅的 50% 左右。如果回波显示数值是试块厚度, 说明探头的零点值输入正确。如果回波显示数值与试块厚度数值不相符, 说明探头的零点值输入不正确, 此时就要反复调节仪器的零点参数, 直到回波显示数值是试块厚度, 此即为真实零点值。

1.4 界面波测厚法

界面波测厚法只适用于堆焊层一侧的检测。工件表面必须平整, 粗糙度 $< R_a 3.2$ 。界面波测厚法不受基材厚度和形状限制, 特别适用基材很厚和基材背部形状不规则的堆焊层测厚。因堆焊层材料一般都是奥氏体不锈钢或镍基合金等对声能吸收和散射衰减较大的材料, 故界面波测厚法检测成功的关键为探头的综合性能好、工件表面光洁度高和仪器输入的声速和零点值准确。但堆焊层厚度 > 20 mm 或 < 3 mm (盲区的影响) 时不适用此方法。

1.5 检测结果

检测得到的厚度数据包括焊接熔深, 一般比机械方法得到的数据要大。熔深的大小取决于材料、焊接方法和焊接规范等因素。值得注意的是, 焊接形成的两种材质熔合线并不平整, 是波浪起伏呈锯齿状 (图 3), 而得到的回波深度大部分是锯齿形下尖角 (即最深处) 的回波。焊接过程中焊接规范也有跳动变化, 还有焊接引起的工件变形等因素影响, 不

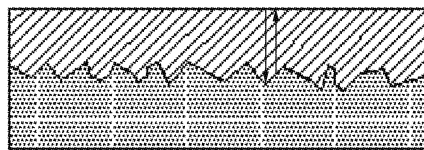


图 3 熔深及回波示意

同测点的数据也有差异, 检测结果应以最薄点为堆焊层厚度。注意: 在堆焊层中不同深度内的微小焊接缺陷会影响测点准确, 此时操作者可稍许移动探头, 避开有小缺陷的位置再测量数据。

2 厚度计算法

2.1 原理

使用数字探伤仪, 利用被测材料基材加堆焊层的整体厚度, 折算出堆焊层的厚度。

2.2 计算公式

$$S = vt \quad (1)$$

基材声速适用于堆焊层侧和基材侧的检测, 计算公式为:

$$S_2 = \frac{S - S_1}{\frac{v_1}{v_2}} \quad (2)$$

适用于基材侧检测的堆焊层材料声速公式为:

$$S_2 = S - S_1 \quad (3)$$

式中 S ——实测显示总体厚度, 即基材的厚度 + 堆焊层的厚度;

S_1 ——基材的实际厚度;

S_2 ——堆焊层的实际厚度;

v_1 ——基层材料中的实际声速;

v_2 ——堆焊层材料的实际声速。

2.3 仪器、探头和试块的选择

2.3.1 仪器

选用数字探伤仪和满足相关标准规定的单晶直探头, 不能使用双晶直探头, 其原因是多数双晶直探头存在焦点, 虽然焦点有大有小, 但是超声波声束中心轴线在工件中走的都是斜线, 回波声程离焦点越远的偏差越大, 即使是零度双晶直探头, 发射和接收的声波也不是声束中心轴线。频率选取 $2 \sim 10$ MHz, 晶片尺寸 $\phi 10 \sim 20$ mm。试块如图 4 和 5 所示, 试块要求长度适当, 宽度大于声场直径即可 (图 4 试块可由图 1 试块代替)。采用此试块校准声速和探头零点的方法与界面波法一样, 但其尺寸精度要求更高。

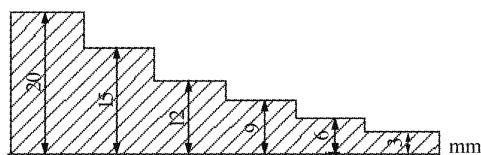


图4 焊接材料制成的试块

2.4 检测

厚度计算法的关键是精确得出基材和焊接材料的真实声速。

其检测方法有两种:

(1) 已知基材厚度时, S 值在工件上测得, 由式(2)计算 S_2 。此法检测的结果不包括焊接熔深, 堆焊层实际厚度要比检测值多出焊接熔深度。

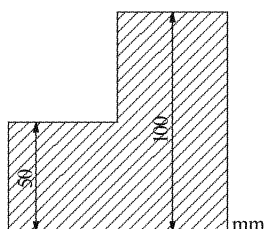


图5 基材材料制成

(2) 未知基材厚度时的检测方法分为两种: ① 基材尺寸基本固定, 即所用于堆焊前的工件基体部分形状、尺寸机械加工完成时, 做第一次基材部分测厚, 首先确定 S_1 值。第二次测量同已知基材厚度的测法。② 在不知基材厚度, 而堆焊工作又已完成时, 首先确定 S_1 , 仪器声速值输入堆焊材料声速, 在基材一侧放置探头, 适当调节增益, 找出两种材质的界面波, 适当调节闸门宽度和起始位置, 显示界面波的深度 S_1 值(此时 S_1 值并非真实基材厚度)。探头位置不动, 再适当调节增益、闸门宽度和起始位置, 显示出底面波的深度 S 值(此时 S 值并非真实总体厚度)。由式(3)可很快算出 S_2 。此法检测的结果

包括焊接熔深, 检测时 S_1 值是变化的, 原因同界面波测厚法。

2.5 分析

厚度计算法方法简单且容易掌握, 检测结果误差 $<1\%$ (前提是两种材质声速输入准确), 对工件的要求不高, 只要上下两表面平行, 基材表面粗糙度 $R_a \leq 6.3 \mu\text{m}$ 即可。即使堆焊层表面焊后不做任何处理, 也能测出堆焊层厚度只是误差略大而已; 对工件的厚度无限制(仪器和探头的组合灵敏度范围内); 它不仅适合制造中产品的检测, 也适合在役产品的检验。检测时回波脉冲定位使用峰值, 不用前沿定位。

3 结语

表1是采用两种方法测得的堆焊层厚度。表1可见:

(1) 界面波法检测数值(各测6点)与数控车床测定和机械方法测量的数值结果相差略大, 不同测点的数值差异较大。计算法检测数值(取6点平均值)与其它方法测量的数值结果仅相差几微米至三十几微米。

(2) 手工焊的工件测量数值较自动焊大, 原因是手工焊的焊接质量不如自动焊稳定。

(3) 计算法检测数值与其它测量方法的结果偏差随基材厚度增大而减少, 这是因为检测范围增大, 仪器反射回波压缩形成的。两种测量方法可涵盖绝大部分产品堆焊层部件的测厚。检测结果的准确性取决于仪器中声速和零点值的输入准确性。

表1 堆焊层厚度测量数据一览表

mm

工件编号	焊接方法	厚度	车床测量值	卡尺测量值	厚度计算值	界面波值					
1	自动焊	(100)+8	8	8.05	8.00~8.22	8.30	8.45	8.50	8.65	8.72	8.71
2	手工焊	(100)+8	8	8.05	7.97~8.32	8.91	9.01	9.00	8.98	8.82	8.87
3	自动焊	(160)+7	7	7.03	7.00~7.23	7.21	7.01	7.67	7.68	7.62	7.87
4	手工焊	(512)+9	9	9.06	9.00~9.12	9.20	9.31	9.88	9.90	9.82	9.87

(上接第457页)

3 结论

使用超声测厚仪测厚, 只能大概发现夹层缺陷位置和深度, 要想具体地定性(确定为单个还是多个夹层)、定量(确定夹层面积和倾角)和定位(确定夹层位置), 只能采用超声波探伤仪。发现单个缺陷指示面积 $<100 \text{ cm}^2$ 或在 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的检测面积内存

在缺陷面积百分比 $\leq 10\%$ 或夹层缺陷的倾角 $\leq 10^\circ$ 时, 球罐可监控使用, 并且缩短检验年限。若能修复, 修复后监控使用并缩短检验年限。不能修复的作报废处理。

使用超声波测厚仪可发现石油液化气球壳板夹层缺陷, 测试夹层深度。使用超声探伤仪可测试夹层面积, 通过波形分析, 可确定夹层状态, 综合判断球壳板破损程度, 为液化石油气球罐修复提供依据。