

TOFD 验收标准的分析与比较

张 迪¹, 朱卫民², 张 健³, 金 磊⁴

(1.中国船级社实业公司青岛分公司,青岛 266071;2.上海华锦质量检测技术有限公司,上海 201900;
3.中兴海陆工程有限公司,大连 116000;4.烟台中集来福士海洋工程有限公司,烟台 264000)

摘要:以 TOFD 焊缝检测验收为对象,比较和分析了国内外主流标准的差异,为检测人员提供了参考。

关键词:国际标准化组织;美国机械工程师协会;衍射时差技术;验收等级

中图分类号: TG115.28 文献标志码: A 文章编号:1000-6656(2019)04-0062-05

Analysis and Comparison on the Acceptance Criteria of the TOFD

ZHANG Di¹, ZHU Weimin², ZHANG Jian³, JIN Lei⁴

(1.CCS Industrial Corp. Qingdao Branch, Qingdao 266071, China;
2.Shanghai Huajin Quality Inspection Co. Ltd., Shanghai 201900, China;
3.Zhongxing Sea-land Engineering Co., Ltd., Dalian 116000, China;
4.Yantai CIMC Raffles Offshore Engineering Co. Ltd., Yantai 264000, China)

Abstract: The differences between national and international standards about TOFD acceptance criteria are compared and analyzed, which provides a reference for NDT personnel.

Key words: ISO; ASME; TOFD technique; acceptance level

1 TOFD 概述

与常规的超声脉冲反射法有所不同,衍射时差技术(TOFD)采用双探头工作,一个探头起发射作用,另一个探头起接收作用,依靠从被检件中不连续“端角”或“端点”处得到的衍射信号来确认和检测不连续,需要使用未检波的 A 扫信号来显示相位的变化。TOFD 法使用脉冲传播时间来定量,而常规超声使用脉冲回波幅度对缺欠大小做定量测定。TOFD 深度定量不依赖于信号波幅,其误差也与波幅无关。TOFD 技术可用于材料检测、不连续定位和定量。

2 TOFD 相关标准

随着 TOFD 技术的发展,各国也颁布了相关检测标准。

收稿日期:2018-12-02

作者简介:张 迪(1987—),男,助理工程师,主要从事无损检测应用工作

通信作者:张 迪,zs.d@163.com

1993 年,英国颁布了 BS 7706—1993《用于缺欠检测、定位、定量的超声 TOFD 技术的校准及设置指南》标准,这是世界上 TOFD 检测的首个应用标准,标准中要求使用 TOFD 技术对不连续进行检测、定位、定量的校准及设置。随后欧盟颁布了 EN 583-6《无损检测-超声检测-第 6 部分:TOFD 作为一种不连续检测和定量的方法》标准,其详细介绍了 TOFD 基本原理和方法。2005 年,荷兰颁布了 NEN 1882《TOFD 检测的验收标准》。2009 年欧盟出版了 EN 15617《焊缝 TOFD 检测验收等级》标准,随后 ISO 于 2011 年出版了《焊缝无损检测-衍射时差技术-验收等级》第 1 版,并于 2018 年进行了修订升版。

ASME 压力容器与锅炉规范在 1995 版中提出了使用计算机成像技术,其中包含了 TOFD 检测的要求,ASME 压力容器与锅炉规范案例 2235 (ASME BPVC CC2235)《使用超声检测代替射线检测》中提出了自动超声检测的基本要求,其中包括了 TOFD 技术要求。ASTM 于 2004 年颁布了 E 2373

《超声 TOFD 技术的实践指南》。

国家质监总局 2009 年颁布了 GB/T 23902—2009《无损检测 超声检测 超声衍射声时技术检测和评价方法》,修改采用了 ENV 583-6《无损检测 超声波检验 第 6 部分:作为检测和不连续性分级方法的飞行时间衍射技术》。国家能源局于 2010 年颁布了 DL/T 330《水电水利工程金属结构及设备焊接接头衍射时差法超声检测》以及 NB/T 47013.10—2010(JBT 4730.10)《承压设备无损检测 第 10 部分:衍射时差法超声检测》。

3 分析与比较

NB/T 47013.10 与 ASME 压力容器与锅炉规范案例 2235 都提出了 TOFD 检测方法和验收的要求,而 ISO 15626《焊缝无损检测-衍射时差(TOFD)技术-验收等级》仅仅是 TOFD 验收标准,不涉及到检测方法要求。单就 TOFD 焊缝检测验收而言,目前国内产品应用较多的是 NB/T 47013.10 标准,国际上或出口产品应用较多的是 ISO 15626 和 ASME 压力容器与锅炉规范案例 2235。

3.1 适用范围

NB/T 47013.10 适用于材料为低碳钢和低合金钢的全熔透对接焊缝,工件厚度范围是 12~400 mm,检测区域宽度为焊缝及两侧熔合线向外各 10 mm。

ASME BPVC CC2235 的适用范围是板厚在 13~300 mm 及以上的锅炉和压力容器全熔透焊缝。检测区域宽度与板厚相关,当材料厚度 T 不大于 200 mm 时,检测区域宽度应包括整个焊缝及焊缝两侧各 25 mm 或材料厚度 T 两者中的较小值,当材料厚度 T 大于 200 mm 时,检测区域宽度应包括整个焊缝及焊缝两侧各 50 mm 的范围。或者,检测区域可减小到焊缝加两侧实际热影响区(HAZ)再加 6 mm。

ISO 15626 标准中规定的适用范围是板厚为 6~300 mm 的铁素体钢全熔透焊缝。检测区域宽度为焊缝及两侧熔合线向外各 10 mm 或实际热影响区宽度两者中的较大者。

3.2 不连续的分类

NB/T 47013.10 中不连续的分类有表面开口型和埋藏型。其中表面开口型又分为扫查表面开口型,底面开口型以及穿透型。扫查表面开口型不连续只能观察到下端点衍射信号,底面开口型只能观察到上端点衍射信号,穿透型为直通波与底面反射

波同时减弱,壁厚方向有多处衍射信号。埋藏型分为点状不连续,线状不连续和条状不连续。点状不连续形状为双曲线弧状,其与拟合弧形光标相重合,长度和高度不可测量;线状不连续形状为细长状,高度不可测量;条状不连续形状为长条状,在上、下两端有衍射信号产生,可测量长度与高度。

ASME BPVC CC2235 不连续的分类有表面型和埋藏型。埋藏型是内部不连续,但是如果内部不连续到被检表面的距离不大于不连续在厚度方向尺寸的二分之一时,此不连续应当作为表面不连续。这与其他标准的定义是不一致的。

ISO 15626 中不连续分为表面开口不连续和埋藏型不连续。表面开口不连续是连接到近表面(扫查面)或远表面(对面)的不连续。埋藏型不连续是不与表面相连,位于材料内部的不连续。细长型直不连续是指在壁厚方向尺寸较小的不连续。细长型弯曲不连续是指在壁厚方向有较大尺寸的不连续。

3.3 不连续尺寸的位置和确定

NB/T 47013.10 中不连续的尺寸位置包括不连续在 x 轴的位置、长度、深度和自身高度。ASME BPVC CC2235 不连续尺寸位置包括不连续在 x 轴的位置,长度和自身高度。ISO 15626 中不连续尺寸位置包括不连续在 x 轴的位置、长度和自身高度。

3.3.1 NB/T 47013.10 中不连续尺寸的位置和确定

(1) 不连续在 x 轴的位置。一般使用拟合弧形光标法确定缺欠沿 x 轴方向的前、后端点位置。用拟合光标与点状不连续重合时的数值代表点状不连续在 x 轴位置。对于其他类型不连续,应分别测定其前、后端点位置,可采用拟合弧形光标与相关不连续的端点重合时所得的位置作为不连续在 x 轴上的位置。

(2) 长度。不连续长度可根据不连续前、后端点在 x 轴上的位置计算而得。

(3) 深度。扫查面开口型和穿透型的不连续深度为 0,底面开口型不连续上端点与扫查面间的距离为缺欠深度。埋藏型不连续中,点状不连续拟合光标与点状不连续重合时不连续的深度为其深度,线状不连续和条状不连续的上端点与扫查面间的距离为不连续深度。

(4) 自身高度。表面开口型缺欠不连续的自身高度为表面与缺欠上端点或下端点之间的最大距离。穿透型缺欠的自身高度为工件厚度。埋藏型条

状缺欠的自身高度为缺欠上端点与下端点之间的最大距离。

(5) 相邻两个或多个缺欠显示(非点状),其在 x 轴方向间距小于其中较小的缺欠长度,且在 z 轴方向间距小于其中较小的缺欠自身高度时,应作为一条缺欠处理。该缺欠深度、长度及缺欠自身高度按如下原则确定:① 缺欠深度:以两缺欠深度较小值作为单个缺欠深度;② 缺欠长度:两缺欠在 x 轴上投影的前、后端点间的距离;③ 缺欠自身高度:若两缺欠在 x 轴投影无重叠,以其中较大的缺欠自身高度作为单个缺欠自身高度,若两缺欠在 x 轴投影有重叠,则以两缺欠自身高度之和作为单个缺欠的自身高度(间距计人)。

3.3.2 ASME BPVC CC2235 中不连续尺寸的位置和确定

ASME BPVC CC2235 中未规定具体的定量规则,需要检测方按照 CC2235 要求,在演示试块中预埋相应尺寸的不连续。在编制程序时,应确定定量规则。程序演示时,根据程序的要求演示对预埋不连续的定量方法。不连续尺寸应可以用矩形框住不连续的所有区域。不连续的长度应平行于工件内表面。不连续在厚度方向的尺寸应垂直于表面,对于表面型不连续,高度为 a ,埋藏型不连续高度为 $2a$ 。

3.3.3 ISO 15626 中不连续尺寸的位置和确定

(1) 长度:长度是不连续在 x 方向上的差值。单个细长型直不连续在厚度方向产生明显的变化,测量时把双曲线光标拟合在不连续上,只有当不连续的两个端头能与双曲线光标拟合良好时,这两端之间的距离才能被认为是不连续的长度。单个细长型弯曲不连续在厚度方向产生明显的变化,测量时不连续的两端在沿不连续厚度方向时间延迟的三分之一处,把双曲线光标放在不连续的两端,这两端之间的距离才能被认为是不连续的长度。

(2) 自身高度:高度是在任意 x 轴上的位置, z 轴方向上的最大差值。表面开口型不连续的自身高度为表面与缺欠上(或下)端点间最大距离。表面开口不连续的高度由直通波与下尖端衍射信号幅值的最大差值决定。对于一个背面开口不连续,不连续的高度由上尖端衍射信号与背面回波幅值的最大差值决定。埋藏型不连续的高度由同一 x 轴向某位置的上端衍射信号与下尖端衍射信号幅值的最大差值决定。穿透型缺欠自身高度为工件厚度。ISO 15626 提供了 4 种高度测量方法(见图 1),测量在 A 扫上

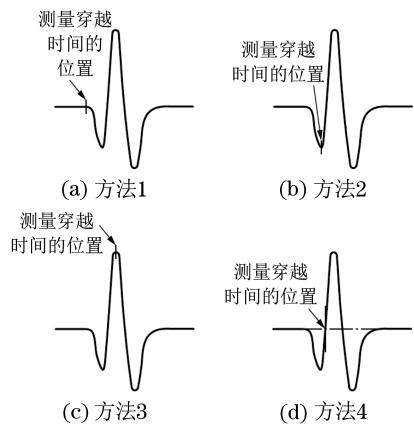


图 1 时间测量的光标位置(4 种方法)

进行,需在信号的同一位置,并需要考虑相位反转。这 4 种方法的具体要求为:① 方法 1:测量信号前沿之间的穿越时间;② 方法 2:测量信号第一个波峰之间的穿越时间;③ 方法 3:测量信号最大幅度之间的穿越时间;④ 方法 4:测量信号第一个零值交点之间的穿越时间。

(3) 群不连续。评定群不连续时应不考虑点状不连续以及高度小于 h_1 的单个不连续。群不连续的评定是基于单个不连续的尺寸以及不连续的间距。一个群不连续的长度和尺寸将不可用于其他群不连续的评定。出现下列情况时,一个群不连续可作为单个不连续评估:沿着焊缝的两个单个不连续之间的间距小于较长不连续的长度;两个不连续在焊缝厚度方向上的间距小于高度较大的不连续的高度。对于一个群不连续,总高度 h_g 定义为单个不连续的高度加上其之间间距的总和,总长度 l_g 定义为单个不连续的长度加上其之间间距的总和。

3.4 验收等级

3.4.1 NB/T 47013.10 验收等级

NB/T 47013.10 中的验收等级有三个质量等级,即 1 级,2 级和 3 级。其中,1 级要求最高,3 级要求最低。评定时按照点状,条状(包括密集型点状)显示分别评定。不允许危害性表面开口缺欠的存在。对于判断缺欠类型为裂纹、坡口未熔合的危害性缺欠,评为Ⅲ级。当各类缺欠评定的质量级别不同时,以质量级别最低的作为焊接接头的质量级别。

(1) 点状显示用评定区进行质量分级评定,评定区为一个与焊缝平行的矩形截面,其沿 x 轴方向的长度为 100 mm,沿 z 轴方向的高度为工件厚度。在评定区内或与评定区边界线相切的缺欠均应划入评定区内,按表 1 的规定评定焊接接头的质量级别。

表 1 NB/T 47013.10 中各级别允许的点状显示的个数

| 等级 | 工件厚度 t /mm | 个数 |
|-----|--------------|--------------------------|
| I | 12~400 | $t \times 0.5$, 最大为 130 |
| II | 12~400 | $t \times 0.8$, 最大为 200 |
| III | 12~400 | 超过 II 级者 |

表 2 NB/T 47013.10 中焊接接头质量分级

| 等级 | 工件厚度 t^* | 单个缺欠 | | | | | | | mm | |
|-----|---------------|------------------|-------------|----------------------------------|------------------|-------------|----------------------------------|---|----|--|
| | | 表面开口型缺欠 | | | 埋藏型缺欠 | | | 单个或多个 缺欠累计长度 | | |
| | | 长度 l_{\max} | 高度 h_3 | 若 $l > l_{\max}$, 缺欠高度 h_1 | 长度 l_{\max} | 高度 h_2 | 若 $l > l_{\max}$, 缺欠高度 h_1 | | | |
| I | 12≤ t ≤15 | ≤ $t/2$ | ≤2 | ≤1 | ≤ $t/2$ | ≤3 | ≤1 | ① 对于单个或多个 $h \leq h_1$ 的线状缺欠, 在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $4t$ 且最大值为 200 mm; ② 若多个缺欠其各自长度 $l \leq t/2$, 高度 h 均为 $h_1 < h \leq h_2$ 或 $h \leq h_3$, 则在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $3t$ 且最大值为 150 mm; ③ 所有表面开口型缺欠累计长度不得大于整条焊缝长度的 5% 且最长不得超过 300 mm | mm | |
| | 15< t ≤40 | ≤ $t/2$ | ≤2 | ≤1 | ≤ $t/2$ | ≤4 | ≤1 | | | |
| | 40< t ≤60 | ≤20 | ≤3 | ≤2 | ≤20 | ≤5 | ≤2 | | | |
| | 60< t ≤100 | ≤25 | ≤3 | ≤2 | ≤25 | ≤5 | ≤2 | | | |
| | $t > 100$ | ≤30 | ≤4 | ≤3 | ≤30 | ≤6 | ≤3 | | | |
| | 12≤ t ≤15 | ≤ t | ≤2 | ≤1 | ≤ t | ≤3 | ≤1 | | | |
| | 15< t ≤40 | ≤ t | ≤2 | ≤1 | ≤ t | ≤4 | ≤1 | | | |
| | 40< t ≤60 | ≤40 | ≤3 | ≤2 | ≤40 | ≤5 | ≤2 | | | |
| | 60< t ≤100 | ≤50 | ≤3 | ≤2 | ≤50 | ≤5 | ≤2 | | | |
| | $t > 100$ | ≤60 | ≤4 | ≤3 | ≤60 | ≤6 | ≤3 | | | |
| III | 12~400 | | | | | | | 超过 II 级者 | | |

* 公称厚度;当焊缝两侧母材公称厚度不同时,取薄侧。

表 3 ASME BPVC CC2235 中焊缝厚度从 13 mm 到小于 25 mm 的缺欠验收规范

| | a/t | l |
|------|--------|---------|
| 表面缺欠 | ≤0.087 | ≤6.4 mm |
| 埋藏缺欠 | ≤0.143 | ≤6.4 mm |

注:(1) t 指包括任何允许的焊缝余高的焊缝厚度。对于对接接头,当焊缝两侧厚度不同时,取较小值。如果全熔透的焊缝中含有角焊缝,则角焊缝的厚度也应包括在 t 中。
(2) 如果埋藏缺欠到表面的距离小于或等于厚度方向尺寸的一半,则应作为表面缺欠。

(2) 非点状缺欠显示的质量分级要求按表 2 的规定进行。

3.4.2 ASME BPVC CC2235 验收规范

ASME BPVC CC2235 没有验收等级的区分。其验收时按照不同的板厚,不连续的类型进行。验收规范见表 3~5。

表 2 NB/T 47013.10 中焊接接头质量分级

mm

| 等级 | 工件厚度 t^* | 单个或多个 缺欠累计长度 | | | | | | |
|-----|---------------|-----------------|-------|-----------------|---------|----|----|---|
| | | 表面开口型缺欠 | 埋藏型缺欠 | 单个或多个 缺欠累计长度 | | | | |
| I | 12≤ t ≤15 | ≤ $t/2$ | ≤2 | ≤1 | ≤ $t/2$ | ≤3 | ≤1 | ① 对于单个或多个 $h \leq h_1$ 的线状缺欠, 在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $4t$ 且最大值为 200 mm; ② 若多个缺欠其各自长度 $l \leq t/2$, 高度 h 均为 $h_1 < h \leq h_2$ 或 $h \leq h_3$, 则在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $3t$ 且最大值为 150 mm; ③ 所有表面开口型缺欠累计长度不得大于整条焊缝长度的 5% 且最长不得超过 300 mm |
| II | 15< t ≤40 | ≤ t | ≤2 | ≤1 | ≤ t | ≤4 | ≤1 | ① 对于单个或多个 $h \leq h_1$ 的线状缺欠, 在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $5t$ 且最大值为 300 mm; ② 若多个缺欠其各自长度 $l \leq t$, 高度 h 均为 $h_1 < h \leq h_2$ 或 $h \leq h_3$, 则在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $4t$ 且最大值为 200 mm; ③ 所有表面开口型缺欠累计长度不得大于整条焊缝长度的 10% 且最长不得超过 500 mm |
| III | 40< t ≤60 | ≤40 | ≤3 | ≤2 | ≤40 | ≤5 | ≤2 | ① 对于单个或多个 $h \leq h_1$ 的线状缺欠, 在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $5t$ 且最大值为 300 mm; ② 若多个缺欠其各自长度 $l \leq t$, 高度 h 均为 $h_1 < h \leq h_2$ 或 $h \leq h_3$, 则在任意 $12t$ 范围内累计长度不得超过 $4t$ 且最大值为 200 mm; ③ 所有表面开口型缺欠累计长度不得大于整条焊缝长度的 10% 且最长不得超过 500 mm |
| | 60< t ≤100 | ≤50 | ≤3 | ≤2 | ≤50 | ≤5 | ≤2 | |
| | $t > 100$ | ≤60 | ≤4 | ≤3 | ≤60 | ≤6 | ≤3 | |

3.4.3 ISO 15626 验收等级

ISO 15626 中的验收等级划分是根据焊缝质量等级要求,将其分为 1 级,2 级和 3 级的,其中 1 级要求最高,3 级要求最低。针对检测中发现的单个不连续,不连续累计和点状不连续,分别进行评定。对于不等厚焊缝接头检测,验收等级应基于两块中较薄的板厚。对于承受动载荷或有开裂倾向的焊缝,应规定更严格的近表面验收等级或应用其他无损检测方法。

表 4 ASME BPVC CC22.35 中焊缝厚度从 25 mm 到 300 mm 的缺欠验收规范

| 比率 a/l | 25 mm $\leq t \leq 64$ mm | | 100 mm $\leq t \leq 300$ mm | |
|-------------|---------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| | (见注 4) | | (见注 4) | |
| | 表面缺欠 | 埋藏缺欠 | 表面缺欠 | 埋藏缺欠 |
| | a/t | a/t | a/t | a/t |
| 0.00 | 0.031 | 0.034 | 0.019 | 0.020 |
| 0.05 | 0.033 | 0.038 | 0.020 | 0.022 |
| 0.10 | 0.036 | 0.043 | 0.022 | 0.025 |
| 0.15 | 0.041 | 0.049 | 0.025 | 0.029 |
| 0.20 | 0.047 | 0.057 | 0.028 | 0.033 |
| 0.25 | 0.055 | 0.066 | 0.033 | 0.038 |
| 0.30 | 0.064 | 0.078 | 0.038 | 0.044 |
| 0.35 | 0.074 | 0.090 | 0.044 | 0.051 |
| 0.40 | 0.083 | 0.105 | 0.050 | 0.058 |
| 0.45 | 0.085 | 0.123 | 0.051 | 0.067 |
| 0.50 | 0.087 | 0.143 | 0.052 | 0.076 |

注:(1) t 指包括所有允许余高的焊缝厚度。对于有不同厚度的对接焊缝, t 取这两个厚度的较小值。如果全焊透的焊缝含有角焊缝, 则角焊缝的厚度也应包括在 t 中。(2) 如果埋藏缺欠到表面的距离小于或等于厚度方向尺寸的一半, 则应作为表面缺欠。(3) 如果验收规范表中缺欠长度 l 小于 6.4 mm, 则用 6.4 mm 作为可接受的缺欠长度。(4) 对于 $64 \text{ mm} < t < 100 \text{ mm}$ 的焊缝, 比率 a/l 的计算可使用线性插值。

表 5 ASME BPVC CC22.35 中焊缝厚度大于 300 mm 的缺欠验收规范

| 比率 a/l | 表面缺欠高度 a | 埋藏缺欠高度 a | mm |
|----------|------------|------------|----|
| 0.00 | 5.79 | 6.10 | |
| 0.05 | 6.10 | 6.71 | |
| 0.10 | 6.71 | 7.62 | |
| 0.15 | 7.62 | 8.84 | |
| 0.20 | 8.53 | 10.1 | |
| 0.25 | 10.1 | 11.6 | |
| 0.30 | 11.6 | 13.4 | |
| 0.35 | 13.4 | 15.5 | |
| 0.40 | 15.5 | 17.7 | |
| 0.45 | 15.7 | 20.4 | |
| 0.50 | 15.9 | 23.6 | |

注:(1) 对于缺欠表观比率 a/l 处于其他值时, 可以采用内插法。(2) t 指包括所有允许余高的焊缝厚度。对于有不同厚度的对接焊缝, t 取这两个厚度的较小值。如果全焊透的焊缝含有角焊缝, 则角焊缝的厚度也应包括在 t 中。(3) 如果埋藏缺欠到表面的距离小于或等于厚度方向尺寸的一半, 则应作为表面缺欠。

(1) 单个不连续。验收等级的要求见表 6~8。

(2) 不连续的累计长度

对于沿着焊缝 $12t$ 长度内的所有高度超过 h_1 的单个不连续的累计长度应该不大于: ① 验收等级

表 6 ISO 15626 中验收等级 1 级的要求

| 厚度范围 | 当 $h < h_2$ 或 $h < h_3$ 时, 最大允许长度 l_{\max} | 当 $l < l_{\max}$ 时最大允许高度 | | 当 $l > l_{\max}$ 时最大允许 高度 h_1^b |
|-------------------|---|----------------------------|--------------|--------------------------------------|
| | | 表面开口不连续 ^a h_3 | 埋藏型不连续 h_2 | |
| $6 < t \leq 15$ | $0.75t$ | 1.5 | 2 | 1 |
| $15 < t \leq 50$ | $0.75t$ | 2 | 3 | 1 |
| $50 < t \leq 100$ | 40 | 2.5 | 4 | 2 |
| $t > 100$ | 50 | 3 | 5 | 2 |

注 a: 当检测到表面开口不连续, 分辨率不足以分辨深度时, 应使用其他方法或技术来确定可接受性; 如果无法使用其他方法或技术, 所有的表面开口不连续应被视为不可接受。

注 b: 高度小于 h_1 的不连续不予考虑。

表 7 ISO 15626 中验收等级 2 级的要求

| 厚度范围 | 当 $h < h_2$ 或 $h < h_3$ 时, 最大允许长度 l_{\max} | 当 $l < l_{\max}$ 时最大允许高度 | | 当 $l > l_{\max}$ 时最大允许 高度 h_1^b |
|-------------------|---|----------------------------|--------------|--------------------------------------|
| | | 表面开口不连续 ^a h_3 | 埋藏型不连续 h_2 | |
| $6 < t \leq 15$ | t | 2 | 2 | 1 |
| $15 < t \leq 50$ | t | 2 | 4 | 1 |
| $50 < t \leq 100$ | 50 | 3 | 5 | 2 |
| $t > 100$ | 60 | 4 | 6 | 3 |

注 a: 当检测到表面开口不连续, 分辨率不足以分辨深度时, 应使用其他方法或技术来确定可接受性; 如果无法使用其他方法或技术, 所有的表面开口不连续应被视为不可接受。

注 b: 高度小于 h_1 的不连续不予考虑。

(下转第 74 页)

水断(润湿性能)试验时可能会冲掉白色涂层薄膜,而起不到增强对比度的效果;二是表面因有涂层薄膜覆盖,工件表面预处理效果往往达不到检测的要求。

相反,如果做完水断(润湿性能)试验后再施加反差增强剂,带来的好处也是显而易见的:一是能正确反应工件表面预处理后的润湿效果,二是施加反差增强剂后对工件进行磁化喷涂(浇涂)磁悬液实施检测,能形成对比度较高的磁痕显示,提高检测灵敏度。

在操作过程中,需要注意的是:水断(润湿性能)试验后要进行干燥处理(自然晾干或电吹风吹干),然后再施加反差增强剂操作,否则反差增强剂不能与工件表面很好贴合。

2 标准试片系统灵敏度验证

反差增强剂的施加也会对标准试片灵敏度验证

环节造成干扰。标准试片系统灵敏度验证是指磁粉检测开始前和结束时,使用标准试片对磁粉检测设备、磁粉和磁悬液的综合性能,工件表面大致的磁场强度、方向、有效磁化区以及检测工艺和操作是否妥当进行验证的程序。

由此可见,标准试片需要与工件在同样的检测条件下处理,其显示结果才具有代表性。所以,贴标准试片的环节应该在水断(润湿性能)试验结束,待工件表面干燥后进行,与工件同时施加反差增强剂,进而与工件在同样的检测工艺下磁化和施加磁悬液,观察灵敏度试片上显示的磁痕形状,判定检测工艺的正确性(灵敏度验证)。

综上所述,对于工件表面粗糙或者工件颜色和磁粉颜色对比度较低的情况进行非荧光磁粉,湿法、连续法磁粉检测时,其工艺流程如图1所示。

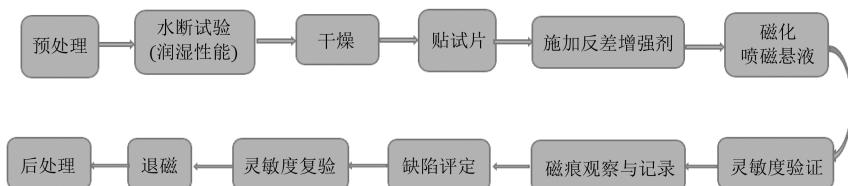


图1 磁粉检测工艺流程

3 结语

在磁粉检测过程中,控制反差增强剂施加、水断(润湿性能)试验及标准试片系统灵敏度验证等三者的时机,才能得到正确的检测结果。

(上接第66页)

表8 ISO 15626中验收等级3级的要求

| 厚度范围 | 当 $h < h_2$ 或 $h < h_3$ 时, 最大允许长度 l_{max} | 当 $l < l_{max}$ 时最大允许高度 | | | 当 $l > l_{max}$ 时最大允许 高度 h_1^b |
|-------------------|--|----------------------------|--------------|------------|-------------------------------------|
| | | 表面开口不连续 ^a h_3 | 埋藏型不连续 h_2 | 高度 h_1^b | |
| $6 < t \leq 15$ | 1.5t(最大 20) | 2.0 | 2.0 | 1 | |
| $15 < t \leq 50$ | 1.5t(最大 60) | 2.5 | 4.5 | 2 | |
| $50 < t \leq 100$ | 60 | 4.0 | 6.0 | 3 | |
| $t > 100$ | 75 | 5.0 | 8.0 | 4 | |

注a:当检测到表面开口不连续,分辨率不足以分辨深度时,应使用其他方法或技术来确定可接受性;如果无法使用其他方法或技术,所有的表面开口不连续应被视为不可接受。

注b:高度小于 h_1 的不连续不予考虑。

1: 3.5t,最大150 mm;② 验收等级2: 4.0t,最大200 mm;③ 验收等级3: 4.5t,最大250 mm。

(3) 点状不连续

对于所有验收等级,在任何150 mm焊缝长度内,单个衍射信号(点状不连续)的最大数量N可由 $N=1.2t$ 计算给出,其中N取较大的整数,t为板厚

(单位为mm)。

4 结语

通过这几个验收标准的分析和比较,现场检测人员能够理解标准内容以及各标准之间的差异,为检测结果的正确评定奠定了基础。