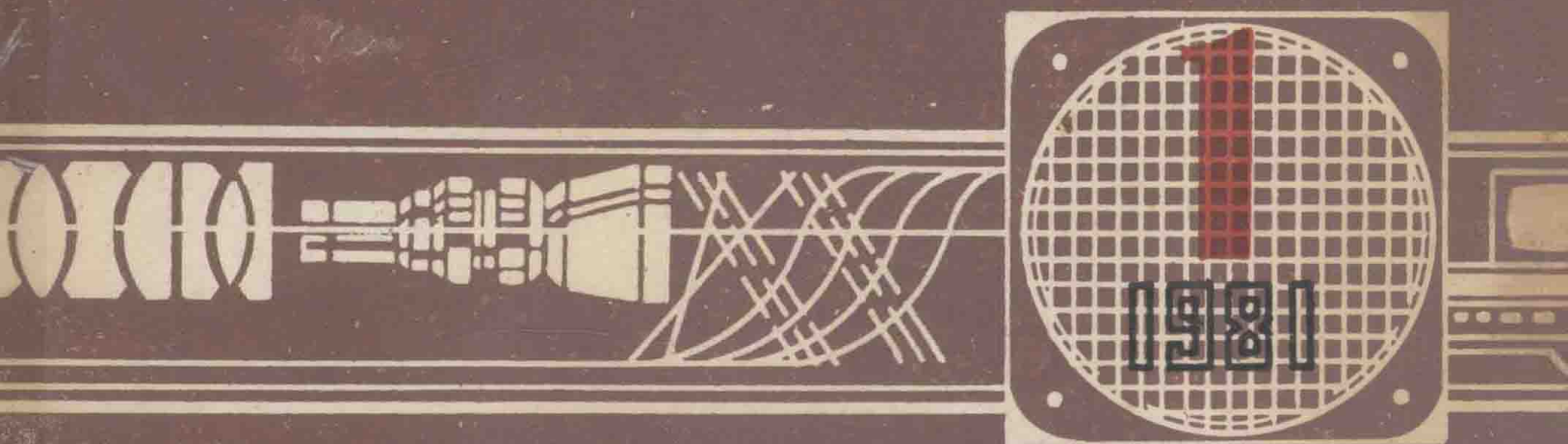


仪表工艺与工厂设计

陕西省机械工程学会理化分会一九八〇年论文选编



国家仪器仪表工业总局西安设计研究院

仪表工艺与工厂设计

内部资料

1981年 第1期

总第22期

目 录

无 损 探 伤

无损探伤概况介绍

.....向阳化工机械公司四十三所 冯树文 (1)

板材角接焊缝超声探伤的探讨

.....铁道部宝鸡桥梁厂 申福兴 周家怀 (3)

表面裂纹深度测量

.....电力部西安热工研究所 余锡荣 吴前驱 (10)

裂纹取向动态测量理论和应用

.....电力部西安热工研究所 吴前驱 余锡荣 (16)

镁合金铸件X光透视体会

.....新征机械厂 丁国光 (21)

国产第一台多用热象仪研制及其在工业中的应用

.....电力部西安热工研究所 贺潜源 刘长久 侯善敬 (26)

机 械 性 能

关于疲劳裂纹扩展的规律

.....西北工业大学材力教研室 崔振源 (33)

金属室温拉伸试验速度的试验研究

.....国营一四八厂中心试验室 孙铁辉 乔文玉 (38)

12Cr1MoV钢持久热硬度与持久强度关系的探讨

.....电力部西安热工研究所 王金瑞 (43)

Tc₄钛合金J积分阻力曲线的测试研究

.....宝鸡有色金属研究所三室断裂韧性小组 (50)

涡流探头裂纹自动跟踪装置

.....西北工业大学材料力学教研室 施纪泽 (55)

轻负荷布氏硬度试验

.....国营红旗机械厂 丁守民 (58)

齿轮的机械性能试验及齿轮轮齿的破断抗力

.....西安交通大学 马宝钿 (63)

自动控温多炉拉伸装置的研制

.....宝鸡有色金属研究所三室三〇一组 (70)

金 相

铍青铜的时效和退火

.....国营五三一厂 颜志强 (74)

某些高强度铸铝合金的显微组织和缺陷分析

.....西安高压开关厂 陈亚男 杨玲文 (81)

淬火回火45Cr钢显微组织和亚结构的分析

.....西安交大金相教研室 刘禹门 (92)

电解抛光浸蚀观测仪

.....宝成仪表厂冶金科 陈章奇 张广楨 (95)

GT—33合金的显微组织与缺陷分析

.....陕西省机械研究所 马文淳 (97)

化 学 成 份

痕量砷的测定 (三氯化金试纸比色法)

.....陕西机械学院化学教研室 田英炎 (101)

关于缩小激光微区分析孔径, 促进定量分析的讨论

.....国营华燕仪表厂 陈自强 (106)

激光微区光谱分析的实验与研究

.....国营宝成仪表厂 陈汝澄 (109)

数字直读式碳硫自动分析仪的试制与调试

.....陕西重机厂 李济平 杨立群 何留德 (115)

二甲酚橙光度法测定锌试验报告 (摘要)

.....国营群峰机械厂 张凡千 (123)

镁合金中铝的络合滴定试验报告 (摘要)

.....国营群峰机械厂 张凡千 (124)

珠光体耐热钢碳化物相分析研究

.....电力部西安热工研究所 孙玉瑚 (124)

无损探伤概况介绍

向阳化工机械公司四十三所 冯树文

一、无损检测科学发展简史:

无损检验这门科学是现代尖端科学之一。其中五大类无损检验方法在第二次世界大战前后就已经发展起来了,它们是射线法、涡流法、超声波法、磁粉法,液体渗透法。现代的无损试验方法有:中子辐射,声发射、热摄影、微波法、塞光扫描、声光全息摄影、外激电子发射、氦发射穿透、计算机相关分析等。已经由对金属材料的检验发展到对非金属材料及复合材料的检验;从宏观的缺陷检验发展到对微观的物理性能和化学性能的检验,譬如应力测定、硬度、腐蚀、疲劳、固化度等。无损检测技术在工业上更发展到涉及产品的可靠、安全、生产及贮存和应用等性能的重要环节。

二、无损检测科学的任务:

1.保证产品质量:即采用无损检测的方法,基本上不破坏产品的结构和质量,检查出产品中的异物(气泡、裂缝、夹质、脱层、脱粘、缺陷、空腔等),并进一步确定异物在产品中的位置及其大小,确定产品组分的状态(物理状态、化学状态)以及化学组分比和物理性能及力学性能,从而获得一定的数据和结果。

2.提供科研数据:把产品经过无损试验所获得的结果数据,与产品(零、部件)在试验运行中(飞行试验中)或实用过程中积累起来的、有关可靠性的数据资料作比较,建立起两种资料之间的关系,从而建立起产品无损检验后合格或报废的标准。

三、各种无损检验方法的优缺点及性能比较见附表。(见第二页)

四、无损检验的发展趋势:

1.产品从抽检发展到自动化的、百分之百的普检。2.建立无损检测的总体系统。3.引入电子计算机。4.手提仪表,现场检验。5.产品运行过程中的动态监控,如用声发射法。6.记录结果数字化,例如 γ 射线探伤;图象化,如激光全息、超声全息、微波全息、液晶成象等。又如X射线全息成象技术。

参考文献

NASA SP-5113 P5, (1973)

方 法	感知性能或 测量性能	检验的典型 缺陷	代表性应用	优 点	缺 点
X射线照相	厚度、密度、 组分的非同 性结构	气泡、多孔、 夹质、裂缝	铸件、锻件、焊 件、组装件	能检测内部缺陷， 用在多种材料（金 属或非金属）轻便， 永久记录	昂贵，工序多，对于 薄板的疲劳缺陷、 裂缝缺陷灵敏度有 限，有害健康
中子射线照 相	复合材料的 非同性结 构，对部分 原子核有选 择性灵敏度	复合材料内部 组分的盈缺、 错位	检验密闭弹筒内 或火工装置内的 推进药或爆炸药	对大量金属有良好 穿透性能，对适当 材料有很高灵敏 度，永久记录	昂贵，相当笨，有 害健康，清晰度差
液 体 渗 透	裂缝开口于 材料表面	裂缝、孔眼、 多孔、直缝、 接缝	铸件、焊件、锻 件的疲劳缺陷或 应力腐蚀缺陷	廉价，易采用，轻 便	裂缝必须开口表 面，污染，不相干 指示常发生。与操 作有关
涡 流 检 验	电导异物或 磁导异物	裂缝、接缝、 热处理合金组 分、硬度的变 化	线、管、薄金属 板的局部区域， 合金拈选，厚度 计	价中等，易自动 化，轻便，如需要 可作永久记录	仅适于导体材料 （非金属测厚）狭 窄的穿透能力，对 几何形态敏感，常 需要参考标准
微波 检 验	复介电常数 异物，金属 表面异物	介质中的脱 粘、气泡、大 裂缝和金属表 面裂缝	玻纤树脂结构 件、塑料、陶瓷、 含湿量、厚度测 量	非接触，易自动 化，快速检测	不能穿透金属，结 果难分析
磁 粉	表面磁通量 异物	裂缝、接缝、 多孔、气泡、夹 杂、疵疤	铸件、锻件、模 压件	简单，低廉，对表 面和近表面缺陷敏 感	仅用于铁磁材料， 污染，要求很仔细 地表面处理，常发 生干扰指示，与操 作有关
磁 场 试 验	部件表面磁 场通量异物	裂缝、接缝、 疵疤、气泡、 多孔、夹质	铸件、锻件、冲 压件	对疲劳裂缝有很 好的灵敏度和鉴 别力，易自动化。 有适当的穿透深 度，永久记录	仅适用于铁磁材 料、部件正常磁化 有时会有困难
超声波检验	声阻抗变异	裂缝、气泡、 多孔、分层	铸件、锻件、 冲压件、厚度计	良好穿透性，易自 动化，良好灵敏度 和精度，永久记录	要求耦合剂，手工 检测慢，通常要有 参考标准，操作有 影响
声 波 检 验	低频声阻抗 变异、振荡 特征模变化	脱粘，分层， 简单部件的大 裂缝和气泡	薄板结构‘蜂窝’ 环形状小零件	工具较简单，易自 动化，轻便	有几何敏感，清晰 度差
超声波全息 照相	同 超 声	同 超 声	检测小的几何规 则部件	产生缺陷的可见象	价昂贵，限于小 件，比射线照相的 清晰度差

方 法	感知性能或 测量性能	检验的典型缺陷	代表性应用	优 点	缺 点
红 外 检 验	表温, 导热性变异和(或)表面发射率变异	非金属气泡和脱粘, 热性元件中的局部冷区和热区	薄板结构、蜂窝结构、电力线路和电子线路	产生可见热图	价昂, 难以控制表面发射率, 清晰度差
应变测量	机械应变	对缺陷检验用得少	大量材料的应变分析	价低, 可靠	对予应变有敏感, 只能覆盖小面积, 要求粘在表面上
脆性涂层	机械应变	一般不用于缺陷检验	大量材料的应变分析	价低, 可产生大面积的应变场图	对予先存在的应变不敏感, 污染, 精度受限
激光全息	机械应变	脱粘、分层、塑形变形	蜂窝结构, 复合材料结构, 机异, 精密件	极敏感, 产生应变场图, 永久记录	价昂, 复杂, 要求很仔细
泄漏检验	液 流	密封容器的漏泄	真空系统、液、气贮存器、管道	灵敏度高, 用途广	要求有内外通路到达系统, 价昂, 污染可能有损伤

板材角接焊缝超声探伤的探讨

铁道部宝鸡桥梁厂 申福兴 周家怀

〔提要〕针对性地扼要分析了目前国内外钢板材角接焊缝超声探伤工艺状况及存在的主要问题。以此为基础, 着重探讨了工型结构件允许未焊透存在的角接焊缝超声探伤较为理想的方法之途径。介绍使用A型超声探伤仪, 采用单斜探头, 以构件腹板为探测面的探测方法原理及具体应用。

引言——角接焊缝超声探伤方法概况简述

由板型材料拼接的工型结构件, 其角接埋弧自动焊缝在型式上, 一般可分为允许未焊透存在的角缝(图1—a)及不允许未焊透存在的角缝(图1—b)两种。对于这种型式焊缝的超声探伤, 目前国内外^{[1][2][3]}一般都采用纵波或横波在构件的翼板上探测的方法(图2—a、b、c、d)。

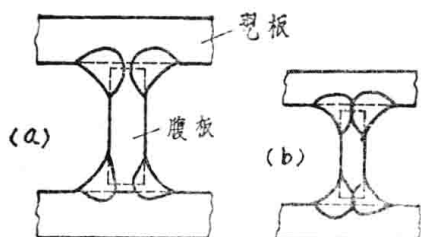


图 1

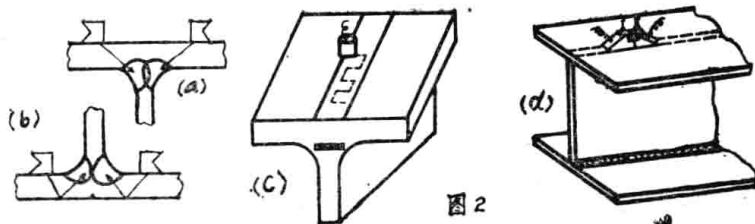


图 2

上述方法的共同特点是探测面选自翼板（又称盖板）。对于不允许未焊透存在的角焊缝（图1—b）是可行的。但都必须满足一定的条件。即采用直探头（图2—C），首先要求翼板的厚度要大于探测盲区和超声束的近场区（实际上不一定都能满足），否则会漏检缺陷或由于近场区杂波的干扰而无法对焊缝中的缺陷作出准确的判断。其次，在荧光屏上应排除或能清楚地分辨出由对面焊缝凹弯面可能产生的波型转换信号。同时一次也只能探测一条或两条焊缝，当探测另外两条焊缝时，要翻动沉重的构件，增加了繁琐的工作量。组合双探头受到翼板横向宽度的影响，不如单斜探头那样自如、灵活、能从各方向对焊缝中缺陷进行探测。所以，组合双探头在技术上作这种简化，其结果可能会失去对判断缺陷类型时不可少的若干信息⁽⁴⁾。同时，还须随时根据翼板的厚度调节两探头间的组合距离，控制探测的声程次数，以使两探头的发射和接收完全吻合。若翼板很薄，采用一次发射和接收也同样会受到盲区、近场区这些不利因素的影响。

比较之下、显然以斜探头为好。但要把现有的方法沿用到探测允许未焊透存在的角焊缝（图1—a）上，对如何避免未焊透存在的强烈的固有反射信号将是需要解决的首要问题。

本文介绍使用A型超声波探伤仪，对工型的钢结构件允许未焊透存在的角焊缝，采用单斜探头，以构件腹板为探测面，控制偶数、奇数次声程，来同时探测上下两条焊缝；并在同一腹板上，调转探头改变超声传播方向便可探测另外上下两条焊缝。这种方法，克服了上述几种方法的弊病，简便易行，对板型材料角焊缝的超声探伤是比较理想的。

超声入射方向、探头移动方式及范围

探测面选在构件的腹板上，单斜探头沿垂直于焊缝方向前后移动，采用偶数次声程探测上面焊缝，奇数次声程探测下面焊缝（图3—aⅡⅢ）。对于构件结点处要求完全熔透的焊缝（图3—aEF=0）是很理想的，荧光屏上反射信号比较单纯，易分析辨认。但当结点处不求熔透，即 $0 < EF < \frac{1}{3}d$ 时，探头沿焊缝垂线方向前后移动的过程中（例如探头在位置I时），除一些常见易判的假信号⁽⁵⁾外，未焊透部分的固有反射信号或者经其反射至焊缝凹弯面又曲折返回造成的迟到信号⁽⁶⁾，将会在荧光屏上聚集，形成强烈的多峰信号群。这种信号群，随着探头的前后移动，忽现忽隐变化莫测，几乎完全掩盖了报警闸门内的缺陷信号（图3—b）。显然，要在这样复杂的信号群中辨认出缺陷信号来是无多大把握的，很难对焊缝作出判断。解决这一问题的途径，国外是从仪器线路设计着手，采用“符合线路”、“延迟线路”及“三探头”等；这些方法都涉及到仪器线路的设计及增添其他设备。我们采用单斜探头，解决这一问题的途径是从控制超声的入射方向着手，为此使探头与焊缝垂线成斜角 θ （图4—a）。试验证明，当 θ 角由 0° 逐渐增大（即偏离焊缝垂线方向）时，荧光屏上那种多峰信号便会逐渐减弱以至消失。但若此后继续增大 θ 值，由于焊缝对主声束的有效反射面积大大减小，可发现焊缝根部缺陷也会不明显，甚至可能漏检。所以 θ 值须根据未焊透的大小和所使用的探头进行试验决定，不能过大。一般保持 $20^\circ \sim 30^\circ$ 范围即可。这样作的实际效果是减小了未焊透对声束的有效反射面积，减弱或消除固有反射信号。由于探头相对于焊缝垂线偏转了 θ 角，焊缝中的纵向缺陷对超声的有效反射面也会减小，可能会将线性缺陷判为点状缺陷（如图4—C）。但若考虑到使用A型仪器对焊缝中的缺陷进行评定时，总是要从不

同方向测试缺陷对超声的反射特性参数，所以这样作，一般不会漏失评定缺陷类型所必须的信息，同时也非常有利于探测焊缝热影响区的横向裂纹。

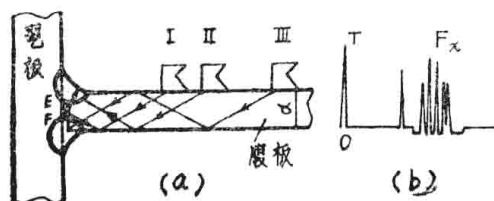


图 3

探头的移动方式，在正常情况下，一般是沿焊缝垂线偏离 $20^\circ \sim 30^\circ$ 方向作锯齿形移动（图4—b）的同时稍微左右摆动，以防漏检焊缝中的纵向缺陷，若有疑问信号时，更要放慢探测速度便于对缺陷作出结论。

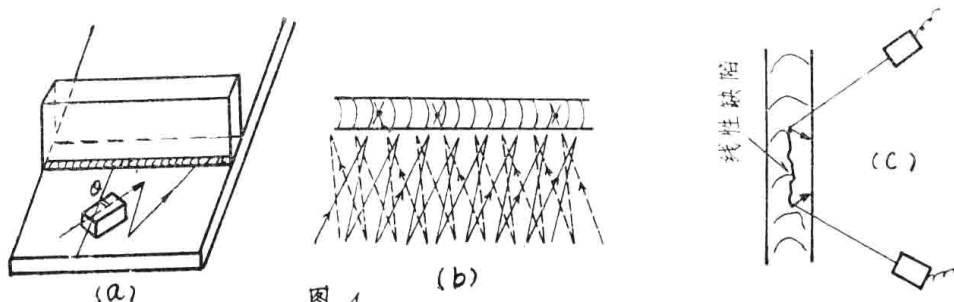


图 4

探头的移动范围，主要根据选定的偶数次或奇数次最大声程保证使主声束能将上下焊缝全部扫查到为原则。由腹板厚度（ d ）、声束折射角（ β ）以及探头相对于焊缝垂线的斜角（ θ ）和焊脚（ R ）决定；并要考虑声能的衰减。如果选用探测的声程次数取得过高，那么由于探头距离拉得太远，声能衰减过大，不能保证足够的灵敏度，同时由于声束的发散，缺陷定位也会受到影响。一般情况下，最大声程（ S_{max} ）应满足 $R/\cos\theta \leq S_{max} \leq n d \tan\beta \cos\theta + R/\cos\theta$ 即可。但尽可能不使 $n=1$ 。因为当腹板很薄、焊脚很大时，一次声程也会在探头前沿处产生探测盲区⁽⁷⁾。例如选用二次声程探测上面焊缝，三次声程探测下面焊缝（图5）那么探头的移动范围就在 $R/\cos\theta \leq S_{max} \leq 3 d \tan\beta \cos\theta + R/\cos\theta$ 内，当1*、3*两条焊缝探完后，扭转探头改变超声入射方向，不必翻动构件即可在同一腹板上探测4*、2*两条焊缝。焊缝有缺陷时，将记号标于翼板内测面上，注明上下焊缝便于电焊返修。

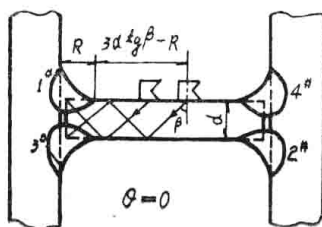


图 5

探测频率及入射角度的选择

探测频率的选择，主要考虑被探测构件材料的晶粒度及要求探出的最小缺陷两个因素。我们探测的构件，绝大部分为16Mnq 钢，晶粒度约为7—8级，晶粒平均直径为0.022—0.030 mm。焊缝的过热区晶粒度约为2—4级，晶粒平均直径约为0.088~0.170mm，焊缝结晶为柱状晶粒。我们探测的焊缝技术条件要求探出的最小当量缺陷为1mm，而一般地说，超声波能够发现的最小缺陷为 $\lambda/2$ 左右。根据这些要求，通过试验选择的探测频率为2.5MC。

探头折射角度的选择，主要考虑了两个方面。一是声能的衰减，二是保证全部焊肉都能被声束主线所扫到。若选择不当，不仅会使荧光屏上的信号复杂化，而且会造成探测死区（如图6—a、b中的阴影线部分）。

实际工作中，探头折射角度的选择按下式计算：

$$\arctg \frac{R_1}{R_2 \cos \theta} \leq \beta \leq \arctg \frac{R_1}{(d-h) \cos \theta} \quad [\text{附录}]$$

当 $R_1 = R_2 = R$ 时，上式可简化为

$$\arctg \frac{1}{\cos \theta} \leq \beta \leq \arctg \frac{R}{(d-h) \cos \theta}$$

式中 θ 为探头对焊缝垂线的斜角，其余如图7示

考虑到实际声束具有一定的扩散角，而不是沿同一方向传播的平行直线束，所以探头角度的选择可与上式计算的结果有一定的偏差，我们一般保持不超过超声束的半扩散角。

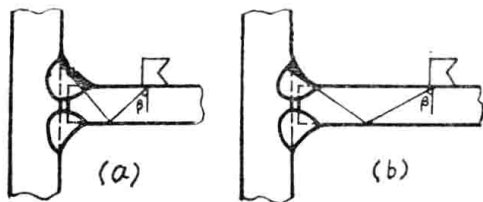


图6

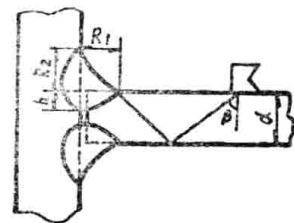


图7

时间扫描线的调整和缺陷定位

A型超声波探伤仪荧光屏上的水平基线，实际上是一个时间基线，单位时间的读数可由屏面上刻度标尺或基线上的电子亮点表示。为了缺陷定位方便，扫描线对应的刻度标尺读数，不应该代表超声传播的实际声程，而应该代表实际声程传播的水平距离（或曰跨距），也就是某一反射体（试块中的标准孔或焊缝中的缺陷）距探头入射点的水平距离（或垂直距离）。按此原理调试仪器，缺陷的水平定位就可以采用荧光屏时间扫描线的读数与实际声程的水平距离（或垂直距离）成1:1或一定比例的方法。我们的调试步骤：

1. 探头入射点及中心距离L的测定

将探头在一块 $r = 50\text{mm}$ 的半圆试块上移动（见图8），找出此试块曲面的最大反射信号，

此时探头与半园中心对应的点，即为此探头的入射点。

($r-L$) 便称为探头的中心距离 L_0 。 $L_0 = r-L$

2. 扫描线的调整和缺陷定位

将探头在与腹板厚度相同或成整数倍⁽⁹⁾的标准试块上移动,测出标准孔对用偶数次声程(如图9—a,二次声程)探测时的最大反射信号 K_{max} ,量出此探头前沿至标准孔的距离(习惯上称前沿距离) L_2 。计算 $(L_2 + L_0)$ 值,并调节“细调”旋钮将信号 K_{max} 移至 $(L_2 + L_0)$ 读数处。同理,翻转标准试块测出标准孔对用奇数次声程(如图9—b,三次声程)的最大反射信号 K'_{max} ,是否位于荧光屏 $(L_3 + L_0)$ 读数处。若其读数小于 $(L_3 + L_0)$,则说明扫描线挤得太紧,使用“细调”将扫描线拉开些。然后用“水平”旋钮将 K'_{max} 退至到 $(L_3 + L_0)$ 读数处。(若 K'_{max} 在荧光屏上的读数大于 $L_3 + L_0$,调正步骤与上述相反)。这样调正后,信号 K_{max} 也将偏离原来的读数 $(L_2 + L_0)$,须再将探头置于图9—a位置,找出二次声程探测时的最大反射信号 K_{max} ,复调于 $(L_2 + L_0)$ 处。这样重复上述步骤数次,直至标准孔的二次最大反射信号 K_{max} 与三次最大反射信号 K'_{max} 正好各位于荧光屏读数 $(L_2 + L_0)$ 及 $(L_3 + L_0)$ 处为止。此时,荧光屏上始脉冲 T 将偏出于荧光屏面刻度标尺读数 O 的左侧,其偏离出之数值即是声波从探头晶片中心至探头入射点的距离 S_0 (习惯上称延迟时间)图9—C。

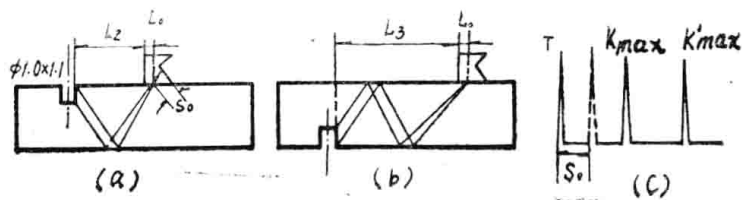


图9

对于选定的探头,由于使用不断磨损, β 值会改变,同时使声束主线与标准孔 H 的轴线发生偏离,而使缺陷定位的准确性受到影响。因此在探测工作过程中,随时测定 L 及 L_0 的实际值,有利于缺陷的定位。如果已察觉到测得的 $(L_n + L_0)$ 的数值与选定的折射角为 β 的探头 n 次声程的水平跨距值 $ndtg\beta$ 值相差甚大,就得测定探头角度的变化情况以确定探头是否可以继续使用或更换新探头。

习惯上,为了能从荧光屏上直接读出缺陷的水平位置。往往在上述调试完成后,再使用“水平”旋钮将已标记的最大反射信号 K_{max} 或 K'_{max} 左移一个 L_0 数值。使荧光屏扫描线上任一缺陷信号的读数便是缺陷至探头前沿的水平距离(图10)。

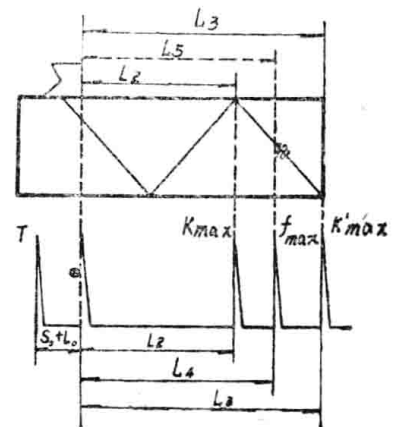


图10

3. 缺陷的深度

按上述过程调试仪器,荧光屏上缺陷信号的读数不仅给出了缺陷的水平位置,也示明了

缺陷是位于上面焊缝还是位于下面焊缝。所以，如果缺陷信号为上面焊缝缺陷反射（例如用二次声程探测上焊缝）且在荧光屏上的读数为 L_f ，那么缺陷埋藏深度 $h = (L_2 - L_f) \text{ctg}\beta$ ，（ L_2 为二次声程终点至探头前沿的距离）。同理，如果缺陷信号为下面焊缝缺陷反射，且在荧光屏上的读数为 L'_f ，则此缺陷的埋藏深度 $h = (L_3 - L'_f) \text{ctg}\beta$ （ L_3 为三次声程终点至探头前沿的水平距离）。显然，若以构件腹板作为参考平面，那么当 $h > 0$ 时，即 $L_2 > L_f$ 或 $L_3 > L'_f$ ，缺陷便位于腹板表面之下BCD或 $B'C'D'$ 网络的焊肉内，（图11） $h < 0$ 时，即 $L_2 < L_f$ 或 $L_3 < L'_f$ ，缺陷便位于腹板表面之上ABD或 $A'B'D'$ 网络的焊肉内；若 $h = 0$ ，即 $L_2 = L_f$ 或 $L_3 = L'_f$ ，则缺陷位于腹板表面BCD或 $B'C'D'$ 上。

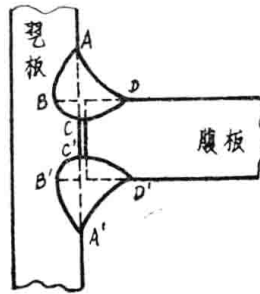


图11

对于选定的探头， $\text{ctg}\beta$ 基本是一个定值，这样的计算并不复杂。若使用K值探头，那就更简便。对于自动焊缝，当焊接工艺规范一定时，焊接熔池的形状尺寸一般超差不大，所以也可以根据焊接熔池的形状尺寸，列出所有可能出现的 L_f 值，计算出 $(L_n - L_f)$ 的一切可能值乘以 $\text{ctg}\beta$ 便可绘制出一个缺陷深度的便查表，随仪器携带使用。如果仪器线性良好，上述计算一般不难。实际上，若缺陷的埋藏深度不作为焊缝返修的依据，当电焊返修采用碳弧气刨工艺时，对于缺陷的深度并不需要如此严格的计算，能心算出上述的网络范围即可满足要求。

结 语

综上所述，对于工型结构允许未焊透存在的角接焊缝的超声波探伤，使用单斜探头，将探测面选在构件的腹板上，不需要繁琐地搬动构件，在同一腹板上就可完成所有4条焊缝的探伤。工作效率显著提高。而且由于采用了多次声波反射探测，只要探头折射角选择合理，不仅不会产生探测盲区，也不会出现超声能量不能抵达的阴影区（死区），同时，声波在焊缝凹弯面发生波型转换的几率也很小。与把探测面选择在翼板上的方法比较，荧光屏上信号图形清晰易辨，使得探伤结论准确可靠。对于接点处要求熔透的焊缝，由于 $EF = 0$ ，只要保持 $\theta = 0$ 即可同样有效地完成探测任务。

若将探测频率作相应的调正，此法也适用于铜、铝等金属板型材料工型，T型角接焊缝的超声探伤。

试验也表明，以腹板为探测面，为克服未焊透存在的固有反射信号的影响，而采用探头与焊缝垂线成一斜角 θ 且保持在 $20 \sim 30^\circ$ 范围内，是一个根据未焊透大小和所用晶片尺寸而得

到的试验数据。实践证明,对于允许未焊透存在的角接焊缝探伤是行之有效的,但对于未焊透大小多变的各种角接焊缝和频率一定时,超声束扩散程度随晶片大小而变化这种现状而言,斜角 θ 值应作如何的相应调正尚未找到一个通用的计算方法,有待于进一步摸索,研究,提高,不能作为偏斜角度选择范围的唯一依据。

参 考 文 献

- [1] 上海材料研究所,国外焊缝超声探伤介绍,《理化检验》物理分册,№4(1973)
- [2] 中国土木工程学会箱形梁焊接技术考察组,《日本焊接钢桥设计与制造规范》,焊接检验部分,人民铁道出版社,1980
- [3] 西南铁路建设工地指挥部栓焊梁战斗组,栓焊梁杆件超声探伤总结,(内部资料) 1966
- [4] 上海材料研究所,第八届世界无损检测会议译文选集,第一辑,77页(1979)
- [5] 申福兴,10~40mm厚钢板对焊接焊缝超声波探伤中假信号的识别,《无损检测》,第一卷,4期(1979)
- [6] 哈尔滨锅炉厂,T型角接焊缝超声探伤《无损检测》第一卷,第一期,(1979)
- [7] 上海锅炉厂,简化的焊缝超声探伤方法《理化检验》物理分册,№4(1973)
- [8] 马铭刚,第32届国际焊接年会有关无损检测技术的介绍,《无损检测》第二卷,第二期,(1980)
- [9] 木材胜美,超声波探伤对焊缝缺陷检测能力,《非破坏检查》,V₀₁₂₂, N₀₈
- [10] A·De·Sterkc《超声波焊缝探伤》

附 录

$\arctg \frac{1}{\cos \theta} \leq \beta \leq \arctg \frac{R}{(d-h) \cos \theta}$ 的导出

$$1. \quad \beta \geq \arctg \frac{1}{\cos \theta}$$

在如图12—a所示焊缝的情况下,要使焊缝上部焊肉不致漏检,声束主线应尽可能贴近 $\widehat{AB}$,以减少焊肉与盖板、腹板交界处附近焊肉的探测死区,则要求:

$$\beta = \beta_1$$

而当 $\theta = 0$ 时:

$$\beta_1 = \arctg \frac{R_1}{R_2}$$

$\theta \neq 0$ 时

$$\beta_1 = \arctg \frac{R_1 / \cos \theta}{R_2}$$

$$= \arctg \frac{R_1}{R_2 \cos \theta}$$

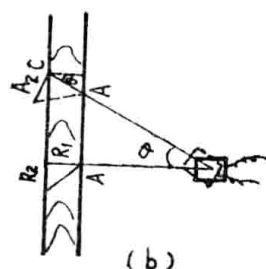
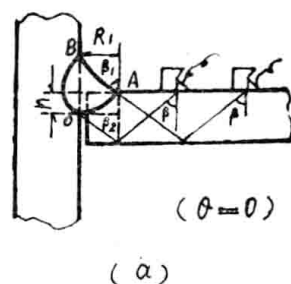


图12

$$\text{即: } \beta = \beta_1 = \arctg \frac{R_1}{R_2 \cos \theta} \dots\dots\dots (1)$$

当 $R_1 = R_2$ 时:

$$\beta \geq \arctg \frac{1}{\cos \theta}$$

同理, 要使焊缝下部焊肉不致漏检, 声束主线应尽可能与 $\widehat{A \circ B}$ 切于 O 点, 以减小焊肉底部的探测死区, 则要求:

$$\beta = \beta_2$$

而当 $\theta = 0$ 时

$$\beta_2 = \arctg \frac{R_1}{d-h}$$

$\theta \neq 0$ 时

$$\beta_2 = \arctg \frac{R_1 / \cos \theta}{d-h}$$

$$= \arctg \frac{R_1}{(d-h) \cos \theta}$$

$$\therefore \beta \leq \beta_2 = \arctg \frac{R_1}{(d-h) \cos \theta} \dots\dots\dots (2)$$

由 (1), (2) 式便得:

$$\arctg \frac{R_1}{R_2 \cos \theta} \leq \beta \leq \arctg \frac{R_1}{(d-h) \cos \theta}$$

当 $R_1 = R_2 = R$ 时便得:

$$\arctg \frac{1}{\cos \theta} \leq \beta \leq \arctg \frac{R_1}{(d-h) \cos \theta}$$

表面裂纹深度测量

电力部西安热工研究所 余锡荣 吴前驱

裂纹在金属部件中是经常出现的一种现象。就无损检测而论, 测量裂纹深度与发现裂纹同等重要。如加工中的部件, 一旦发现表面存在裂纹, 精确测定其深度决定着部件能否继续加工。对运行中部件的裂纹, 更需要精确测定其深度。以提供可靠数据供断裂力学等计算。决定该部件能否继续安全运行。由此体现了表面裂纹深度测量在生产中的重要性。

测量表面裂纹深度方法较多, 如:

电位法: 测量裂纹引起电位的变化。

漏磁场法：测量裂纹形成的散漏磁场的变化。

涡流感应法：测量因裂纹引起振荡频率的变化。

虽然这些方法在某些情况下探测都有所奏效，但各有其优缺点。本文介绍超声表面波裂纹测量方法。经模拟试块试验，实测及解剖验证，证明本方法测得结果较其他方法准确。

一、测量原理

通常超声波检验中，缺陷大小以反射脉冲的振幅或衰减的方法来评判。而裂纹深度测量则利用声波传播时间与裂纹深度的对应关系。即声波传播时间的变化来测定裂纹深度。

图1是超声表面波测量裂纹深度原理。发射探头置于裂纹一侧，接收探头置于另一侧。从图中所示表面波在裂纹处传播情况可见，即使有较大部分能量从裂面A及其底部B处被反射回来，同时还有波型转换。但仍有足够的能量继续传播，直至被接收探头接收。这时在示波屏上可观察到裂纹信号，出现位置应在无缺陷处之后，根据其差值，即可确定裂纹的深度。

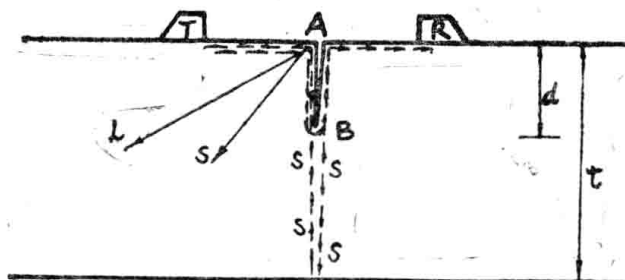


图1

二、仪器及探头的要求

原则上任何脉冲反射式的超声波探伤仪都适用。但最好选用时基线性好、发射功率大的仪器。本方法试验是采用CTS—6型仪器。

仪器的激发频率，可采用5 MC（兆周）或2.5 MC。这可根据实测过程中被测部件的晶粒粗细而定。

探头采用微型表面波探头，固有频率为2.5 MC或5 MC，要求声束方向性好、灵敏度高，探头入射点靠近探头前沿。

三、测量过程

分双探头法及单探头法两种。

（一）双探头法

用两个表面波探头如图1所示跨放于裂纹的两侧。一个作发射探头，要求相对灵敏度高些，另一个作接收探头。

1. 扫描调整：仪器探测选择旋钮置“双”位置。两探头置于被测部件无裂纹位置，以少量

机油作耦合剂，探头间距离分别取 $S_1 = 20\text{mm}$ 及 $S_2 = 40\text{mm}$ 调整仪器的扫描线，可用多次渐近法调仪器的“水平”和“微调”旋钮，使最后达到示波屏上指示刻度与探头实际距离成1比1，或相应的比例。

2.灵敏度校验：使仪器衰减40db，取两探头间的距离 $S = 40\text{mm}$ 的反射脉冲达示波屏上4格高。

如仪器灵敏度旋钮旋至最大而接收讯号达不到要求，即讯号值在4格高度时衰减量不足40db。这可能是激发频率不对，或者是探头本身灵敏度不够。这将影响测量效果。

3.被测部件表面要求：部件表面裂纹深度测量，一般要求离裂纹左右的距离30mm内无其它表面裂纹存在，否则表面波的传播将受到其它裂纹的影响。

部件表面的光洁度和裂纹表面的清洁对表面波能量的衰减有很大的关系，故先用砂纸把表面打磨平滑，尽量使裂面不存在液体及其他脏污夹杂物，可用乙醇、丙酮、乙醚等清洗。同时，两探头间切勿涂上耦合油，以免引起油层吸收声能，影响测量。

4.裂纹深度测量：将两个探头跨放裂纹两侧，如图2所示，量好探头间的距离，这时把仪器衰减的40db逐一减少，直到发现示波屏上有裂纹脉冲讯号出现，读取该脉冲前沿的时基线 τ 值，按下式即能算出裂纹的深度 d 。

$$d = \frac{\tau - s}{2}$$

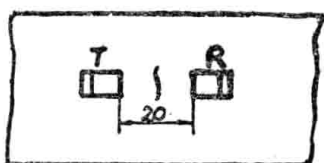


图2

(二) 单探头法

基本要求与双探头法相同。所不同的仅是以单收发的反射方式进行。

裂纹深度测量，是把探头垂直裂纹放置，如图3所示，探头与裂纹间的距离可以小些，这时在示波屏上首先看到一个从裂纹表面反射回来的裂纹波，然后逐一减去衰减值，提高仪器灵敏度，直至出现第二个讯号。从示波屏上读取两讯号的差值，此值即为裂纹深度。

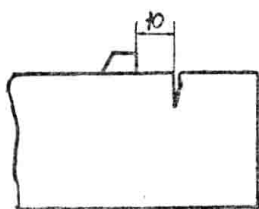


图3

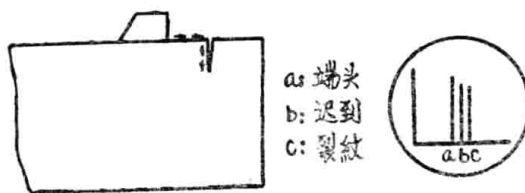


图4

本方法对于裂纹表面的裂口较宽时易于测量，对于裂面较窄的裂纹，效果要差些。另外，有些微型表面波探头对试块端头的反射波，每当灵敏度过高时，则会产生迟到讯号，这一讯号易和裂纹深度波混淆，如图4所示。

两者判别的方法是先在试块端头试验确定。这种情况是探头性能不良而引起的。

四、波形判别

由于测量的部位不一及裂纹宽度等不同，示波屏上出现的波形也不一。这里着重对双探头法的波形进行分析。

1. 表面裂纹穿透波。如图5所示。探头间的距离 S 与示波屏上脉冲前沿的指示值相等。这是因为表面波在部件上传播时直接穿过裂口被接收探头接收到。

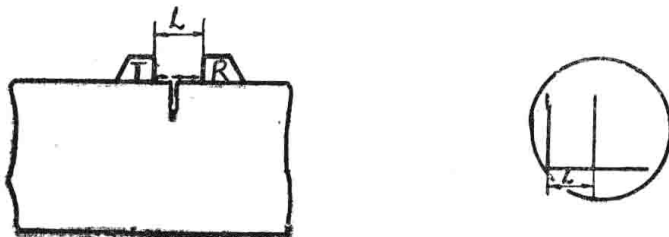


图5

穿透波的产生，在裂纹宽度较窄情况下都存在，讯号幅值也强于裂纹讯号。有时可达30 db以上。当裂纹宽度较大时，则此讯号消失。

穿透波的存在可作为两探头接触良好与否的参考。

2. 裂纹波。在穿透后出现。一般情况下它的幅值强度要提高20 db以上才能出现。根据裂纹宽窄不同，波形的出现有如下两种：

(1) 裂纹较宽，在示波屏上只有单一讯号出现，如图6 a所示。

(2) 裂纹较窄，在示波屏上同时出现双波，即穿透波和裂纹深度波，如图6 bc所示。

3. 杂乱波。在灵敏度提高后，在示波屏上始波与裂纹深度波之间有回波出现，可能是裂纹内存在脏污物等声波在其间穿过形成。如图6 d所示。

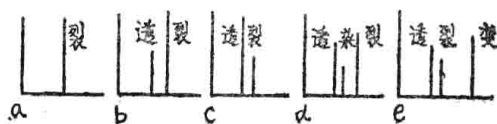


图6

4. 变形波。一般对厚度较薄的部件，由于表面波在裂纹转角处的波形转换而产生反射，如图6 e所示，对于外形复杂部件，变形波更多。

5. 没有讯号反射。在实测中，有时仪器灵敏度提至最高，示波屏上仍没有讯号出现，这主要是裂纹太深、表面波的能量在传播途中衰减尽。

另外，不排除某种原因形成的故障，如外形多棱边，探头放置部位不平，探头接触不良等。可换位校对。

6. 灵敏度引起的迟到波。这种波形位置正好在穿透波的后边，常会被误判为裂纹深度讯号，如图7所示。

这个双波的判别，可以单探头单收发，对部件端头进行试验。出现双波的，是探头透声楔为提高灵敏度而设计制造的一种付作用。然而双波位置在示波屏上的差值是固定的。

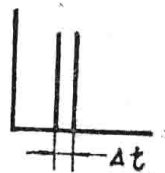


图7

7.手指接触判定表面波。探测过程中在示波屏上出现多个反射讯号时,可用手指按在双探头间之部件上,讯号幅值降低者即为表面波。

五、各种因素的说明

(一) 裂 纹

- 1.裂纹外形。它不影响测量,探头可垂直跨于裂纹两侧,并分段测量。
- 2.裂纹长度。表面裂纹长度一般大于5 mm时,均可测量。基本不受边界条件的限制。
- 3.裂纹倾斜度。对非垂直表面的裂纹,不影响测量,但倾斜夹角太小时,这会因表面波特性而受到限制。
- 4.表面裂纹宽度。一般能目视到的裂纹均能用本方法测量。
- 5.裂纹深度。由于表面波传播时能量的衰减,对于很深的裂纹,本方法受到限制。

(二) 探头位置

由于裂纹出现在不同形状部件的不同部位,如图8所示,这可根据不同情况放置探头。但发射探头必须垂直裂纹放置。

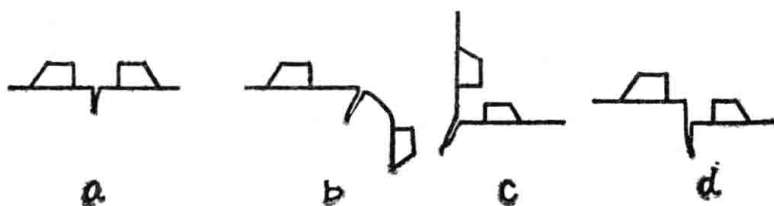


图 8

六、实测试验

(一) 汽轮机汽缸结合面裂纹测深

探测件为铸钢,仪器使用频率为2.5MC及5MC,两探头间距 $s = 10\text{mm}$,灵敏度调至衰减40db,反射波高为示波屏上4格。

测量时灵敏度提高30db(即仪器衰减量为10db)后能观察到裂纹深度波如图9所示。

表面波测量后又用电位法及漏磁场法复测,具体结果如下:

- (1) 超声表面波测量为3.5mm。
- (2) 日本A—4型龟裂测深仪测量为3.2mm。
- (3) 漏磁场法测量为2.8mm。



图 9 裂纹测深波形

(二) 叶轮键槽裂纹深度测量

探头放置位置如图10所示。测量结果为3 mm。