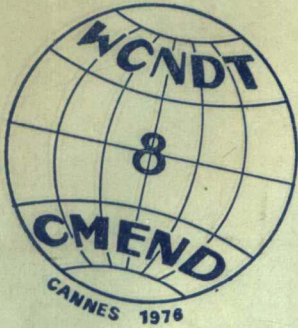


EIGHTH WORLD CONFERENCE ON

NONDESTRUCTIVE TESTING



第八届世界无损检测会议

译文选集

第二辑

1979

目 录

M3	机械化超声检测工艺的进展·····	(1)
1A4	检查层裂的无损检验方法·····	(10)
1C4	热态钢材的超声检验·····	(15)
1C7	用多探头组改进超声检验·····	(20)
1D8	钢棒和钢管自动化精整处理系统的发展·····	(23)
2A5	用电位测量法无损检查钎焊处的机械强度·····	(27)
2B5	用聚焦探头改善铁素体钢与奥氏体钢焊缝的检验·····	(29)
2B6	奥氏体钢焊缝的超声检验·····	(33)
3A9	用 X 射线衍射法研究低碳钢中的应力·····	(39)
3A14	不锈钢的热处理质量和机械性能的磁性检验·····	(44)
3A16	用巴克豪森噪声无损检测钢中的铁素体·····	(51)
3B1	综合检测金属产品质量的生产线·····	(58)
3B5	磁粉探伤机的结构问题·····	(55)
3D2	X 射线检测领域的自动化·····	(59)
3D5	携带式闪光 X 射线机的应用和技术·····	(62)
3D8	无损探伤用“ML-IR 型”电子直线加速器的一些特性·····	(68)
3E2	应用改进的微光度计测量射线照片固有不清晰度的一种新方法·····	(71)
3E8	射线照片的缺陷鉴定·····	(75)
3E8*	荧光屏在工业射线照相中的应用·····	(79)
3E10	高分辨率射线照相技术的发展·····	(81)
3E11	厚度为 5~250 毫米产品的 X 射线电视检测·····	(86)
3F6	测量固体中超声波衰减的新仪器·····	(89)
3F7	热处理对超声波性能的影响·····	(91)
3G4	以数字重建的声全息作为分析超声指示的工具·····	(96)
3H8	固体中圆盘形空腔对平面纵波的散射·····	(101)
3H7	焊缝探伤时超声信号指示的估计、估计方法的比较·····	(107)
3H11	用聚焦超声测量焊缝缺陷的尺寸·····	(108)
3H14	具有全新概念和技术的厚板全自动超声检测设备·····	(113)
3J3	如何选定超声仪器的性能和技术条件·····	(119)
3J12	通过控制及应用聚焦声束改进超声波探伤·····	(123)
5A5	红外线无损检验在石油化学工业中的应用·····	(127)
5B2	火车车轴超声程序检验和记录·····	(131)
	第八届世界无损检测会议论文目录(附摘要)·····	(136)

机械化超声检测工艺的进展

(荷兰) De Sterke A.

【摘要】 本文着重评论在制造中以及定期地对焊缝和核压力容器进行检验的超声检测法,并叙述多探头系统的使用和数据记录的优点以及目前超声检测法受到的限制、要求和发展趋势。

引言

对机械化超声检测的发展进行评价时,要求对下列基本部件作严格的评定,它们是:

- (1) 超声设备中的电子装置;
- (2) 换能器;
- (3) 扫查机构;
- (4) 显示和记录系统;
- (5) 评定测试结果的设备。

全世界许多研究所、公司和实验室曾经就这些方面报导过许多重要的成就。文献调查表明,在目前机械化超声检测设备中所具有许多特征,早在多年前就已被介绍(或至少已被提到),现举例如下:

- (1) 飞机结构的测试^[1];
- (2) 轧制产品和管材的生产检验^[2~4];
- (3) 铁轨状况的鉴定^[5];
- (4) 焊缝检验^[6,7];
- (5) 医学诊断^[8]。

还可以举出更多的实例。

在上述某一方面被突破时,对其它方面也会有影响并带来新的发展。特别是电子装置和数据处理方面。它们的组合件成为定期检查核压力容器或其它重要系统的可靠设备。然而还需要进一步的注意,诸如:信号处理以提高信噪比、探头阵列和聚焦探头的使用以及对超声测试结果进行定量或评价的系

统等等。如果我们要研究与机械化超声扫查有关工艺进展的话,则对上述方面都应加以考虑。本文试图对其中看来关系最大的一些方面作概略的叙述。

超声测试的机械化

一般来说,如采用机械化方法,其重点全在于速度。当在生产线上进行测试时,因产品数量多或探测范围广,是促使采用机械化测试的一个重要原因。同时,也由于下列六种因素,采用机械化似乎是不可避免的。

- (1) 提高测试速度;
- (2) 消除人为的失误;
- (3) 改善测试的重复性;
- (4) 为探测和评价缺陷而建立最佳的测试条件;
- (5) 测试结果的综合记录;
- (6) 遥控扫查。

当然,它们中的某些因素或多或少是相互有联系的,而且对于设备的要求和设计可能有着相互的影响。

1. 测试速度

在某些情况下,虽然可以用增加探伤人员来应付大批量的测试工件。但从经济角度来考虑,有时这是难以办到的。然而在大多数情况下,将发现上述的某些因素会显得比测试速度更为重要;特别是为了提高缺陷的

可探测性、对测试结果定量以及有必要得到所有超声探测结果的客观记录。如果用于下列系统时,测试速度是重要的:

- (1) 在生产线上进行检查;
- (2) 对已完成的结构作最后检验;
- (3) 对设备进行基准检查和定期检查,

检查时设备不能运转。

如果对机械化系统的测试速度作更详尽的考虑,则在单位时间内能测试的体积单元数目,将依赖于下列因素:

- (1) 要求的测试灵敏度;
- (2) 零件的表面状态;
- (3) 扫查机构的精度和稳定性;
- (4) 信噪比。

第一个因素显然是测试设备应具备和依据的主要方面。第二个因素非常重要,在某些情况下可以说,为了得到所要求的探测缺陷灵敏度,关键是试件表面的准备情况。超声测试设备的设计者通常把注意力集中在上述的最后两种因素,并致力于使这种设备在现场使用既坚固又操作方便,还要努力去消除或抑制干扰信号的影响。一般来说,后者总是主导因素和集中发展工作中的重要部分。改进探头设计、低阻抗换能器、屏蔽、使用三芯同轴电缆、线路激励器以及其它匹配信号传输系统等都是重要的。用来消除表面条件的不利影响和耦合及背景指示等的装置,也可能成为设备的一个重要组成部分。当这些问题解决后,测试速度最后取决于下列特性: T_d = 需要探测的最小目标尺寸(毫米), W_b = 有效声束宽度(毫米), P_s = 在给定的信噪比下达到尺寸为 T_d 目标的脉冲数目, S = 被覆盖的体积单元数目, f = 脉冲重复频率(赫), V_s = 扫查速度(毫米/秒)。

$$V_s = \frac{f \cdot T_d \cdot W_b}{S \cdot P_s}$$

2. 消除操作中的人为限制

自动化系统本身是无法与人类智慧竞争的,在操作中若遇到预先未考虑到的困难时,

将不能找出解决问题的方法。然而人类智慧可以预先赋予自动化系统事先考虑到它将遇到的一切可能情况。当程序一经排定后,将遵循预定的扫查路线,因为它不会分散注意力而其工作也不受心理的或其它意外因素的影响。

3. 建立最佳测试条件

除根据规范进行检验外,手工检验的质量取决于操作者的知识、技巧和经验。此外,所用设备的质量和进行检验时的环境条件也起着重要的作用。一些人为限制,特别是在探头操纵和数据处理方面可通过机械化加以克服。用人工方法评价任何复杂物体在A型显示中的单一指示的含义是很受限制的。如果操作者将若干相连的指示波形(它们各不相同但又是和同一个缺陷相关的)中的信息组合起来则更难评价。一个明显的实例是,测量反射波的包络来鉴定缺陷和估计其大小。除非其几何形状极简单,操作者将反射波动态图形绘出或拍摄屏幕图象,以便随后对信号图形进行评价。操作者获取最佳信号的能力,有时被认为人工扫查比机械化更为优越。然而这一特点的重要性通常与缺陷反射波振幅值有关。专家们越来越了解到反射波振幅和缺陷大小的关系所受的严格限制。在文献[9~11]中介绍了有关人工超声检验的可靠性。

目前,在国际上正在进行着一个规模很大的研究计划来比较用人工检验大型焊接试件的结果。即在压力容器研究委员会的赞助下,美国生产的板材在10个欧洲国家中流通。这些板材将按照给定的规范进行检验,并在整个超声测试计划完成后进行解剖。国际组织PISC(板材检查指导委员会)估计这项工作需数年才能完成。预期通过这次检验,在下述两方面可以获得有价值的资料:人工检验的可靠性以及在近似理想的条件下探测和评价缺陷的可能性。

为了解探测和评价焊缝中缺陷的可能

性。国际焊接学会的VF分委员会于1968年发出了一份调查表,调查结果清楚地表明,目前的无损检测方法(包括人工超声检测)仍存在很多问题。在发展最合适的超声测试方法时,诸如材料厚度、金相结构以及缺陷的取向、位置、分布、类型和大小等因素都使检测方法有一定的局限,这些都必须加以考虑。

在测定缺陷大小和对缺陷进行评价时,仍然还会遇到许多问题,这使专家们认识到,尽管超声测试方法已被采用了三十多年,但对于我们所真正需要的定量结果尚有一段距离,人们仍处于其入门处。当然,这比缺陷反射率数字显示法的问题要多得多。随着断裂力学应用的发展,关于缺陷大小、取向和深度的定量数据显然是重要的。要达到这一目标,还需要做很多的工作,其中一部分将集中在机械化方面,期望建立最佳的扫查条件和记录系统。应当特别加以注意的一些方面,将在下面各节中述及。

4. 超声探头

很久以来,探头被认为是超声测试中最主要的元件之一。可以说,由于在换能器元件和探头领域中的特殊发展已使超声测试中遇到的很多困难获得了解决。例如,对奥氏体结构钢焊缝进行检验,主要由于改进了探头设计使之获得进展^[12]。在研制新探头时,要注意在缺陷探测和缺陷评价两方面有着相当大的区别。而且在原则上对其要求也是不一致的。用较宽的声束和较低的频率使探测任意取向缺陷的可能性增加。然而,评价缺陷时需要高分辨率,因而就需使用较高频率和较窄的声束。图1a和1b表示频率对缺陷探测能力的影响^[13]。显然,使用窄声束意味着需要作更广泛的扫查,这就需要测试工作机械化。

5. 多晶片探头

使用双晶片探头已不是桩新鲜事。最初制造这种探头是使不用单探头的仪器能得到直线型的压缩波声束,其目的主要是为了限

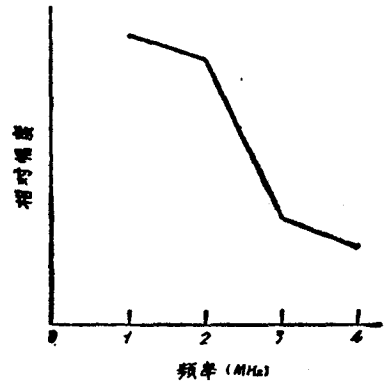


图1a 在1、2、3和4兆赫频率时,裂纹形状对超声响应的影响。在对64个大轴断裂的实际试验中所得到的平均值

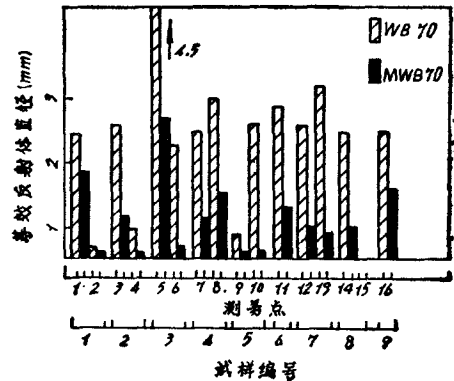


图1b 用2和4兆赫70°探头进行超声检验时,对同样缺陷所测得的等效反射体大小^[13]

制几何盲区。它们突出近场分辨率的优点已被了解,目前双晶片斜探头已越来越多地用于焊缝检测或类似方面。特殊的双晶片探头被用来探测奥氏体钢带焊缝包复层下产生的再热裂纹以及在机械化系统中用来测试包复容器^[14]。晶片各自独立工作或以相互方式工作的多晶片的探头,已被使用多年了^[5~15]。鉴于它们的结构复杂,可考虑与机械化扫查及合适的多通道记录系统在一起应用。在所有这些情况中,不论探头中晶片以发射、接收、或收发的方式工作,都是使用单方向性的声束。为了在被测试元件中获得相同的体积覆盖量,机械扫查的范围应能大幅度减少。而且,

多晶片探头还能用来构成一个可移动的声束。这种探头阵列正逐渐受到注意。特别在医学领域内,有些先进系统已被采用^[16]。一种引人注目的探头设计是将相位补偿声束阵的概念和小型化结合起来^[17]。这种直径仅3毫米的探头(见图2)能通过人体动脉一直到达心脏并对其内部进行扫查,以便对运动中的心脏结构作瞬时的研究。虽然探头的尺寸这样小,它却具有32个晶体元件构成一个圆形阵。其脉冲声束能以150转/秒旋转。无疑在医学诊断上的这种发展将会导致技术方面的应用以及在建造机械化系统时获得充分注意。

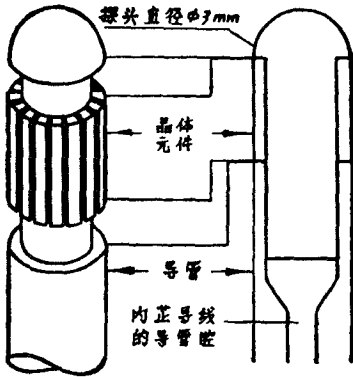


图2a 多元件心脏内部扫查器的示意图^[17]。目前已发展的探头含有32个元件。声束以150转/秒的速度旋转

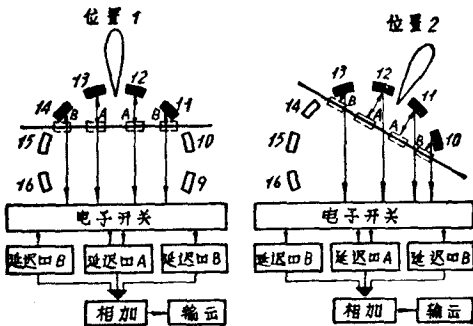


图2b 声束旋转的原理,两个连续扫查位置^[17]

6. 聚焦探头

如上所述,信噪比是确定机械扫查速度的一个决定性因素。使缺陷信号比杂波信号

相对增强的方法之一是采用聚焦声束。另一方面,如声束很窄,则覆盖整个被检验体积的扫描图形愈细。没有简单的数学公式能够确定最佳的条件,因为它将依赖于材料的特性以及被探测缺陷的特性;特别是缺陷的大小和深度。为了提高探测缺陷的灵敏度,水浸探伤法多年来已采用了聚焦探头。在其它方面这种探头也具有优点。当与机械化扫查结合起来时,通过绘图和外形测定为评价缺陷提供了新的可能^[18~20]。上述另一特点有助于减少缺陷指向性的不利影响。其解释是根据来自缺陷的反射声,其发散程度正比于入射声波所射到面积的大小,而与缺陷本身的大小无关。当缺陷位于焦点距离上时,反射波将产生极大的散射。这也就说明目前所采用的聚焦探头还存在缺点,无论它用曲面晶片、声透镜还是声反射镜制造。当检验工作仅局限于一个特定区域时,用固定焦点探头是行之有效的,然而在对体积缺陷进行检验时却反而无效。聚焦深度很广的探头可以用于水浸扫查法。这种所谓超声 Axicon 的原理如图3所示并在文献[21]中也有介绍。聚焦深度很广的探头也是以晶片组成的环形换能器构成。通过多路扫描装置以循环方式激发^[22],参见图4。一个多路扫描装置将同一直径上的发射元件进行切换,而另一个则将接收元件作同步的旋转。将此原理应用到多探头系统,将使电子设备变得更为完善,这似乎是可行的。

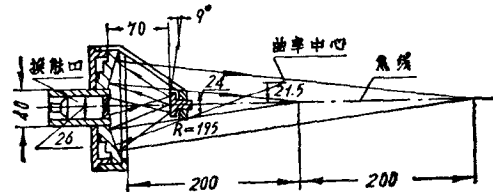


图3 Burekhardt, Hoffmann and Grandchamp 所介绍的超声 Axicon^[21]

7. 超声测试方法

多年来各种超声测试方法都得到了发展。其中包括传统的脉冲反射法、透射法或

缺陷作更精确的评价,则必须提高分辨率,因而要沿着更细的栅格扫查。

核压力容器的检查

在对核容器进行预检和定期检查时,可将容器壁分成若干区,如图5所示。每一区作为材料中的一个独立层来检验。因此采用了多种不同的方法^[25~27]。探头的配置要使声束重迭于最大值的-6dB处。显然,这种系统具有有限的深度分辨率。在某些情况下是允许的,因为这些测试仅为了在连续检查之间监视着可能出现的偏差。根据定义,在预检时发现的缺陷,应当在检验工作的早期

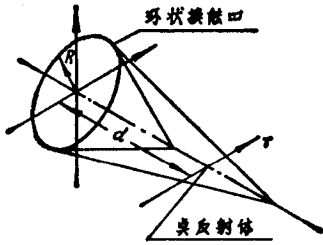


图4a 环状换能器的透视图

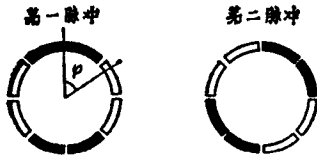


图4b 用于连续脉冲的发射和接收片
黑色: 发射用; 白色: 接收用。

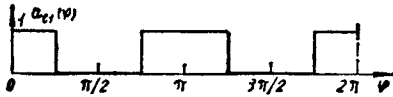
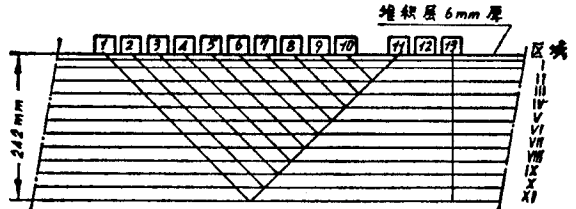


图4c

阴影法等。机械化扫查方法的优点在于使某些测试方法可以或多或少地被同时应用,从而使各种方法所提供的信息可以结合和联系起来。可考虑的几种已被确认的方法有:正常的脉冲反射法、穿透法、散射阻断法^[23]、串列法、“δ”法^[24]等。所有这些方法都可采用多探头系统来进行。它们的组合作用有利于缺陷评价。例如,从串列法所得结果,区分出脉冲反射法得到的特性图形,便能指出缺陷的取向。

8. 机械化扫查

探头与试件的相对移动有多种形式。有时探头是随着移动着的试件而移动。通常有下列几种形式:直线的、旋转的、螺旋形的、弯曲的等。在所有这些移动中,探测间距决定系统的横向和(或)深度分辨率。它和测试速度也直接有关(参见第1节)。有时,讯号超出预定高度或界限时,间距可以由粗到细作选择性的调整。这主要取决于检验目的、允许标准、特别是评价的严格性。如果需要



方		法		附	注
脉冲反射	串	列	透射		
探头	区域	探头	区域	探头	
1	XI			1~11	45°切变波
2	X	2-1	X		45°切变波
3	IX	3-1	IX		45°切变波
4	VIII	4-1	VIII		45°切变波
5	VII	5-1	VII		45°切变波
6	VI	6-1	VI		45°切变波
7	V	7-1	V		45°切变波
8	IV	8-1	IV		45°切变波
9	III	9-1	III		45°切变波
10	II	10-1	II		45°切变波
11	III-V			1~11	45°切变波
11	VI-VIII				45°切变波
11	IX-X				45°切变波
11	XI				45°切变波
12	I				70°压缩波双晶片
13	III-X				0°压缩波
13	XI				入射底面反射波

图5 在检验厚壁容器时需要加以区分的不同区域和不同扫描模式^[29]

就指出,制造完成后,通过验收检验,便无需再进行评价然而,在制造过程和最后验收试验中,得使用机械化超声测试系统对缺陷性质作详细的考察。通过检验所得的数据应提供足够的资料,以便决定可以验收或必须返修。因此,用机械化系统检验核压力容器时,应考虑到四种情况以及与其有关的几种情况。

1. 制造中检验

- (1) 分别地对母材和焊缝进行检验;
- (2) 母材在焊接前必需检验合格;
- (3) 应当在制造过程中检验焊缝,如果可能,应在高温下检查^[30];
- (4) 将结果用简便的形式表示,以便于在返修时工作;
- (5) 测试系统的速度应与制造时间和返修时间协调;
- (6) 容器部件水平地放置在锅炉车间的滚筒上;
- (7) 可以从外部和内部进行检验;
- (8) 可以在包复之前进行检验。

2. 成品检验

- (1) 在热处理之前;
- (2) 将结果用简便的形式(和“制造中检验”一节中所用的一样)表示;
- (3) 加快测试速度,连续扫查;
- (4) 容器水平地放置在锅炉车间的滚筒上;
- (5) 最好仅从外部进行检验。

3. 验收试验/基准检查

- (1) 在热处理和加压试验之后;
- (2) 连续的定期检查计划,取得表明测试结果的数据;
- (3) 加快测试速度,在两个主要方向上对焊缝和母材进行连续扫查;
- (4) 容器垂直地放在制造工厂或反应堆大厅里;
- (5) 模拟放射性环境;
- (6) 根据反应器的型式从外部或内部进

行检查^[28,29]。

4. 定期检查

与已进行过的基准检查相同。

当设备经过使用,带有放射性时,对机械化系统便有额外的要求,即需要进行遥控机械化扫查以便使操作人员所受的辐射降低至可允许的程度。在制造阶段中,区分焊缝中的平面形和非平面形缺陷是很重要的。可能解决的方法有:频谱分析^[31,32]、全息摄影^[33],从不同角度进行扫查以测定指向性^[6],或找出垂直缺陷轮廓和反射振幅相互关系。目前看来,后者或许是最实际的。

重 复 性

判断一个测试系统的可靠性通常是根据其探出已知(人为的或天然的)缺陷的能力,以及在若干次连续扫查中所获结果的重复性。对同一材料体积进行连续检验时,能否重复产生同样图形,这是任何测试系统质量的主要标志。在对核压力容器作定期检查的应用中,测试系统的这种特性是很重要的。用超声检测的术语来说,所谓精确性就是在连续的相同扫查中,能重复缺陷反射波包络。着重点在于其幅度值,通常2dB的差异是允许的(虽然2dB意味着幅度变化约20%)。在实际情况下,考虑到核容器通常具有的条件,要取得更好的检测结果看来几乎是不可能的。影响测试结果的原因有:表面粗糙度、操纵器的间隙误差、因温差影响声速和折射等。反射波振幅的稳定性还受下列各部分影响:探头、机械部件、耦合条件和作为一个整体的电子装置等。仅从幅度评价来考虑,此标准是否现实还是一个问题。因为在大多数情况下,缺陷的反射波幅度反映不出缺陷的大小或特性。然而,在核容器的定期检查中,它却是我们监视变化情况的主要数据。这点需要肯定,除非部件内部条件确实发生了某种变化,否则在一次定期检查中所获得的数

据应当和早先的测试结果相同，这里应把由于设备不稳定性而产生的变化排除掉。采用标准试块的办法是很有用的。图6表示在实践中使用的一种设计。当可达到的重复性经确定之后，在随后的检查中如发现额外变化，都应予以怀疑。最主要的是指示的范围，其次是幅度。不论幅度增加或减小，它都可能是缺陷变化的一种表示。

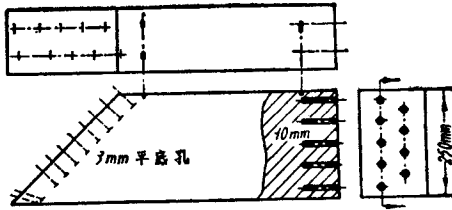


图6 在对运行前和运行中的核反应堆压力容器进行机械化检查时，用于设备标定的校正试块^[28]

为了得到良好的重复性，操纵器的坚实性和精确性是最重要的。在设计上应当使系统本身的摆动和滞后都不影响操纵器的运动和程序，最好能避免在连续运动中由于间隙误差而产生的不精确性。操纵器应设有位置指示器，指示器的输出便于操纵并用来在记录上作出标记。这种位置指示器应安装在尽可能靠近探头处从而可得到最确切的数据。对电子装置的稳定性也需特别注意，以便能在很宽的工作温度范围(例如 $-10^{\circ}\sim+50^{\circ}\text{C}$)内得到良好的重复结果。温度的变化特别对测量脉冲传播时间有影响。当偏差超过了预定值时，需自动补偿或至少是自动报警。考虑上述这些因素，振幅的公差不是非常严格的。根据所要求的分辨率，时基电路应具有较高的精度。在目前采用晶体控制触发的超声设备中，选通脉冲定位(位置和宽度)的绝对精度可以达到0.2毫米(钢中横波行程)。在所有的元件中，探头应经常予以校核，以保证其稳定性。探头的特性，诸如声束图案、灵敏度以及其脉冲波形，应在使用之前加以校核，并将其记录下来便于参考。尤其在使用

接触式扫查时，探头的磨损及特性的改变更须校核。当采用接触式扫查法对一个大容器进行超声检查后，用试块校核检查前后的幅度，允许偏差为2dB。在此情况中，对焊态钢带包复层进行扫查的行程总长度约为12000米^[27]。显然，这种探头要用耐磨材料制造。

显示和记录

在机械化扫查中使用着多种的显示和记录系统：B型或C型扫描显示、记忆示波器、屏幕图象摄影机、具有模拟和通过/不通过形式的各种纸带记录系统、数字打印机、传真记录、P型扫描记录、磁带记录等。记录系统的选用应根据实际应用而定。因每种系统都具有各自的优点以及特殊的应用场合。

(1) B型或C型扫描显示和记忆示波器常与医学诊断扫查系统合用。

(2) 摄影机在高速测试时使用，评价工作可以分开来进行，例如路轨探伤^[34]。

(3) 当验收标准建立后，在生产线质量控制上采用通过/不通过记录，其优点最明显。在生产检查中为了表示缺陷幅度和缺陷范围，用数字打印机是最合适的^[35]。作为初始评价，可用模拟记录装置。

(4) 所谓P型扫描记录，在其发展的早期阶段中所用发光二极管已经得到了进一步发展，现在已能在电敏感的纸上画出缺陷图形来表示缺陷的位置、范围及其方向^[36]。P型扫描系统是吸引人的，因为它同时具有人工扫查的适应性以及机械化所提供广泛数据的获取能力。我们将关心着其实际应用。

(5) 当对许多相同的元件进行检查或重复检查时，使用磁带记录有着一定的优点，因为这时可以应用图形识别系统。在对核压力容器的定期检查中，曾经较广泛地将磁带记录与生产线外和生产线上的图象显示一齐使用^[27]。在其它先进的测试工艺中，预期它也

将获得进展。

(6) 如果在低速测试设备中需要观察综合的连贯数据图表时, 则传真记录有着显著的优点^[87]。尤其是能定量的传真记录^[88]。在此似乎要强调一下这种测试可达到的高质量。它具有卓越的侧向分辨率, 而在其包含X-Y位置和幅度值的虚构的三维显示中, 可得到最综合性的和信息最丰富的图形。就信噪比而言, 其性能和一般方法相似。

评 价

对超声测试中获得数据进行解释和评价方面的进展仍是比较缓慢的。超过一个预定的反射波高度便显示有缺陷, 这并不是新方法。实际上, 最初的超声脉冲反射法就以此为基础。至多我们可以这样说: 使用现有的多探头系统和先进的记录设备, 能使测试结果以更为精确和更易理解的方法表示出来。

考虑到这种方法固有的局限性, 这些成就就是不能令人满意的。实际上, 在对无规则分布目标的定位和对其取向状态及大小的测定方面, 许多实验室正在集中精力研究, 我们正关注着声全息摄影和信号分析系统领域的进展, 以及为了获得对结果定量的更现实基础而对探头设计和扫查系统所作的改进。

趋向和展望

可以预期, 机械化超声检验的应用将迅速地增长。在前面各节中已指出了几种促进这方面发展的几个因素。另外一种需要则来自对复杂几何形状结构部件的检验。由于工作应力常集中于这种具有复杂几何形状的区域, 而这些部位的制造问题要花很大精力去解决, 显然对此更需作机械化的超声检查。由于扫查样品的形状复杂, 需用数字控制扫查机构, 甚至需要采用计算机控制的多路扫查系统^[89]。使用这种系统将

理的应用联系在一起^[40]。我们还可以预见, 设备定期检查的原理, 据此所得测试结果可以和产品检验单进行比较, 它将扩展到一些工程领域中, 增加机械化超声测试的重要性。

为了促进实用方面的发展, 各种学科的专家紧密合作是很重要的。包括制造设备中的声学部件、电子装置或扫查和操纵机构直接有关的科学家和工程师。他们在设计过程中, 应当了解所使用的各种部件的相互影响以及协调得好所带来的好处。这种合作还包括待检验设备的设计师, 尽可能使结构便于检验。在某些工业中已认识到这方面的重要性并已实行, 但它应成为正常的惯例^[41]。

这同样可应用到冶金方面。例如, 在不锈钢的测试中, 冶金学家可考虑如何减小奥氏体组织的不利影响。

断裂力学专家也应当一开始就参与制订测试规范工作。所有这些努力, 最后将应用于制造有效和实用的机械化超声测试设备中。

参 考 文 献

- [1] Erdman D. C., Ultrasonic inspection using automatic recording and frequency modulated flaw detector, Non-Destr. Testing, (Nov.-Dec. 1953), 27—31.
- [2] Kopineck H. J., Krachter H., Rauterkus W., Ultraschallprüfung von Erzeugnissen der Eisenschaffenden Industrie in der laufenden Fertigung. Stahl und Eisen 79 (1959) 11, 786—797.
- [3] Fink K., Opportunities for automation of nondestructive testing at hot-rolling mills, Stahl und Eisen 85 (1956) 6, 353—372.
- [4] Oliver R. B., MC Clung R. W., White J. K., Production inspection of pipe and tubing by the immersed ultrasonic method, Symp. Non. Destr. Tests in Field of Nucl. En. ASTM STP 223 (1958) March. 62—79.
- [5] Martin E., Werner K., Schienenprüfung mit Ultraschall und den Ultraschallschienenprüfwagen der Deutschen Bundesbahn, ETR (1956), Vol. 12, 1—13.
- [6] Rontgen Technische Dienst, Method for the inspection of materials especially of a particular zone

- thereof, with the aid of ultrasonic waves, U. K. Patent 726824, (1952-12-19).
- [7] De Sterke A., Automation in non-destructive testing of welds, 6th World Petr. Congr. (June 1963), Section VII, Paper 15, 35-46.
- [8] De Vlioger M., De Sterke A, Molin C. E., Ultrasonic for two-dimensional echo-encephalography, Ultrasonics 1(1963) July-Sept., 148-151.
- [9] Rambaud M., Confrontation des résultats obtenus par sondage manuel et par sondage automatique, Rev. des Metall. 62 (1965) 2, 139-143.
- [10] P. V. R. C. Subcommittees Report, Non-destructive Examination of P. V. R. C., Plate weld specimen 201 Weld. Res. Suppl. (December 1971) 529-S-538-S.
- [11] Chin Quan H. R., Scott I. G., Operator effects in N. D. T., Non-Destr. Testing (Aug. 1975), 195-203.
- [12] Kuhlow B., Neumann E., Wustenberg H., Nabel E.-Mundry E., Ultrasonic testing of austenitic steel weld joints, Proceedings of IAEA Symposium in the Reliability of Nuclear power plants I. A. E. A.-S. M. 195/24, 569-575.
- [13] Frielinghaus R., Zur Ersatzfehlergrößenbestimmung von Schweißnahtfehlern mit Ultraschall. Schweißen und Schneiden 25 (1973), 552-1555.
- [14] Krautkramer J., Krautkramer H., Werkstoffprüfung mit Ultraschall, Springer Verlag, (1966), 180-183.
- [15] De Sterke A., Ultrasonic inspection of welds in nuclear reactor pressure Vessels, Br. J. of N. D. T. Vol. 12, no. 4, (Dec. 1970), 114-124.
- [16] Wittingham T. A., A Hand-held electronically switched array for rapid ultrasonic scanning, Ultrasonics (Jan. 1976), 29-33.
- [17] Bom N., Lancee C. T., Van Egmond F. C., An ultrasonic intracardiac scanner, Ultrasonics (March 1972), 72-76.
- [18] MC Elroy J. T., Focussed Ultrasonic Beams, Int. Journ. of N. D. T. (1971) Vol. 3, 27-58.
- [19] Saglio R., Roule M., Progrès réalisés dans le contrôle automatique par ultrasons des soudures d'acier inoxydable austénitique à l'aide des transducteurs focalisés, Rev. de Soudage 30 (1974) nr. 2, 104-107.
- [20] Wustenberg H., Kutzner J., Mohrle W., Fokussierende Prüfköpfe zur Verbesserung der Fehlergrößenabschätzung bei der Ultraschallprüfung von dickwandigen Reaktorkomponenten, Publ. B. A. M. Berlin (1976).
- [21] Burekhardt C. B., Grandchamp P. A.-Hoffmann H., Ultrasonic Axicon: A device for focussing over a large depth, Journ. of the Ac. Soc. of Am., Vol. 54, no. 6 (December 1973) 1628-1630.
- [22] Burekhardt C. B., Grandchamp P. A., Hoffmann H., Focussing ultrasound over a large depth with an Annular Transducer-an alternative method, I. E. E. E. Transactions on sonics and ultrasonics, (Jan. 1975) 11-15.
- [23] Botcher B., Schulz E., Wustenberg H., A new method for crack depth determination in ultrasonic materials testing, Paper H-05 to Seventh I. C. N. D. T.
- [24] Cross B. T., Hannah K. J., Tooley W. M., The delta technique-a research tool-a quality assurance tool, Publ. Mat. Ev. Group, Autom. Ind. Boulder Colorado, T. R. 68-11.
- [25] De Raad J. A., Automatic Ultrasonic Examination of Welds, Paper C12 for the 7th ICNDT.
- [26] Meyer H. J., Ultraschall Wiederholungsprüfungen an Reaktor Druckbehältern Kerntechnik, Isotopentechnik und Chemie (1971) Heft 2, 56-68.
- [27] De Raad J. A., Dijkstra F. H., Engl G., Ultraschallprüfanlage und Datenverarbeitung für Nullaufnahmen und Wiederholungsprüfungen von Reaktor-druckbehältern, DVS Berichte 32, 255-262 (Lect. to 2nd. Intern. Coll. on Welding in Nucl. Engin. 23-24 Oct. 1974).
- [28] De Raad J. A., Engl G., A continental viewpoint on N. D. T. Techniques (for Periodic Inspection), Proc. 10th Symp. on N. D. E. (April 1975) Publ. SWRI San Ant. Texas USA, 112/128.
- [29] Cross L. B., Johnson C. R., In-service inspection of nuclear reactor vessels using an automated ultrasonic method, Materials Evaluation (July 1970) 162-167.
- [30] Silber A., Die Ultraschallprüfung heißer Schweißnähte Schweißtechnik, Wien, nr. 10 (1969) 125-128.
- [31] Whaley H. L., Laszlo Adler, Flaw characterization by ultrasonic frequency analysis, Mat. Ev. (1971), 182-192.
- [32] Nabel E., Neuman E., Analysis of ultrasonic echoes by means of pulse spectroscopy, Proc. of the 5th Conf. on Dimensioning and strength calculations and the 6th Congr. on Mat. testing, Budapest (28/10-1/11 1974), Akadémiai Kiadó Budap. (1974) Vol. 1 S I-422-33.
- [33] Aldridge E. E., Clare A. B., Shepherd D. A., Preliminary investigation of ultrasonic shear wave holography with a view to the inspection of pressure vessels, Conf. on per. insp. of pressurised compo-

- nents (June 1974) Instn. Mech. Engrs. Paper C 84/74, 72—77.
- [34] Rail condition evaluation by ultrasonic car, Rail Engin. Intl. (May 1971).
- [35] Cornforth A. R., Ultrasonic rotary probe system for the inspection of large diameter seamless pipe, SIMAC (1974) 6, 1—7.
- [36] Lund S. A., Jensen P., P-Scan documentation, a new method for recording and visualizing data for ultrasonic weld inspection, Presentation to the VII I. C. N. D. T.
- [37] Hitt W. C., Automated ultrasonic testing and facsimile recording systems in use in the USA, 6 I. C. N. D. T. (1970) Lecture B 15, 171—183.
- [38] Hodgkinson W. L., Isonography, Ultrasonics (July 1966) 4, 138—142.
- [39] Honeycutt C. R., Sattler F. J., Williams L. P., Griffith E. G., Computerized ultrasonic inspection of reactor vessels, Mat. Ev. (Sept. 1974).
- [40] Lynn P. A., An introduction to the analysis and processing of signals, Macmillan Press S. B. N. 333 14352.

曾克京译 叶恒健校

检查层裂的无损检测方法

(法) Evrard M. Le Penven Y. Dubresson J.

[提要] 用超声波局部检查轧材以检查焊缝结构中层裂危险的方法和设备。

引言

几年来,在某些类型的焊接结构中发现与层裂现象有关事故越来越多^[1]。为此,从冶金方面寻找解决办法。此研究任务于1970年由欧洲共同体委员会通过合同交给了焊接所^[2]。

当冶金产品由于焊接在厚度上引起焊接物的嵌入,这就必须对冶金产品性能的有关问题进行更加广泛的研究。从事这项工作的依据如下:

1. 在不同的国家进行的调查说明由于在厚度上的内聚所造成的事故频繁地增加^[3]。

2. 尽管对这个问题有大量的资料,但这方面的知识还是零碎的和分散的。

3. 还没有一种工业手段能够预防这种现象的出现。

进行研究的目的在于研究可能的无损分析方法,以引起使用者对轧材层裂的敏感。

对钢号不同而厚度在15~110毫米之间的钢板进行了研究,对结构发生事故的部位进行了取样分析,发现确实很容易发生层裂。

检验方法的选择

在这种现象的发生和发展方面所获得的知识说明,某些型式的夹杂在裂缝的扩展中起着很大的作用^[4~6]。

为了提供必要的参数来确定工件中是否有夹杂以及夹杂的分布和密度,这就需要对检验方法进行选择 and 试验。

所用的检验技术应该具有工业性的特点,比如,在验收钢板时可以运用。

根据超声波能全面检验轧材的特点,所以在研究中对超声波的各种检验技术都试验过,其中有一种很值得发展。

有些作者^[7]指出要特别注意的夹杂,主要是在热成型中造成的夹杂,尤其是硫化物和硅酸锰,当工件在厚度方向上产生应力时,这些夹杂就成了引起层裂的起点。

尽管这些夹杂具有优惠的取向和形状容易被超声波检测到,但仍有一些太小的缺陷还是不容易探测的。

检验技术的试验

由于要探测的夹杂尺寸大小不一(几个微米到几个毫米),这就必须对探测方法加以研究。或者是通过测量缺陷或缺陷群的反射能量,或者是通过测量缺陷上,特别是小缺陷上,由于散射所引起声能的吸收来发现它们。

首先对后一种方法进行研究。

1. 在金属中测定声能的吸收

对各种方法进行评判的结果表明,利用频率分析的可能性比较合适^[6]。

这个方法的原理是:靠压电元件受到严重阻尼的探头产生一个频谱范围很宽的脉冲。为了得到明显的矩形脉冲,一种频谱分布的形式是特别必要的。

当被测工件穿透性改变,特别是考虑到一种性能吸收的情况下夹杂出现的时候,正如人们所想象的,由于低频段有最大的能量反射^[7,8],这个频谱图可能有某种不规则的形变。

通过频谱分析仪虽然获得了初步的试验结果,校正了以前的回波曲线形状,但是要获得任何有意义的结果,还得在钢板表面使用一种具有特别灵敏的方法,这种方法在对产品进行系统检验时,对于层裂具有很高敏感性。

2. 通过测量缺陷反射能量寻找夹杂

由于非金属夹杂的性质和体积小的特点,它的反射能力一般较弱;另一方面,层裂前夹杂和基体钢之间的内在联系,以及这两种介质声阻抗的差别很小,也构成了对探测的不利因素。这种探测方法只有在缺陷具有足够的反射能量的情况下才能得到保障。纵波聚焦声束的运用便可以满足这个条件。

试验通过下列自动检测设备进行:

一台装有回波选择器和模拟输出的插件式超声波仪;一个浸水自动检验池;一张 $x-y$ 画线台;一个嵌镶式压电晶体元件的探头,频率为 10 兆赫,曲率半径为 150 毫米。

试验结果^[8,9]

探头和钢板间的距离起初要经过计算,以使声束的理论聚焦点位于检测工件厚度的中央,在一定数量的牌号和厚度不同的钢板中探出了夹杂(图 1)。

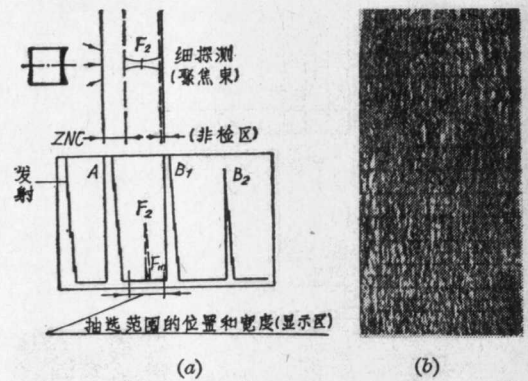


图 1

尽管这些结果比较好,但操作技术只能部分地解决所提出的问题。事实上,钢板对层裂的灵敏度不仅取决于夹杂的类型,尤其取决于夹杂在工件厚度中所处的位置。因此,近来表面的不均匀性在多数情况下,与层裂现象的发生有关。

满意的估计轧制产品在厚度上可能层裂的灵敏度只能用抽检法得到,检验中只有近表面的夹杂被探测到并记录下来。通过对探头进行声能聚焦,以及对宽度和屏幕水平扫描范围的调节可以达到上面的要求(图 2)。

实际上,在对一定数量钢板进行抽检时,研究中发现试样在横方向中经过拉伸试验后,它的延伸率和收缩率很差(布罗都 B 型),见图 3(b)。

所获得的一些特别有意义的结果,如同

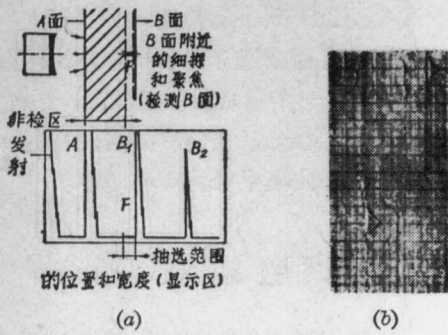
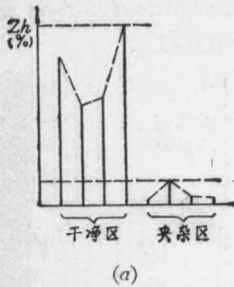


图 2



(a)

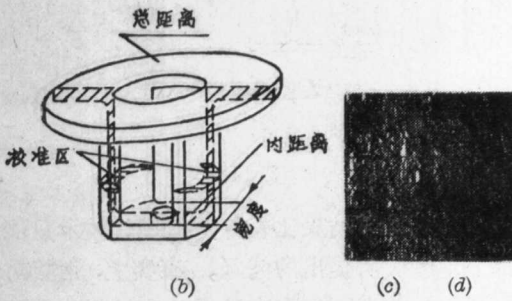


图 3

图 3(c) 的记录和图 3(a) 的图表所示, 侧收缩率 ($Zh\%$) 的数值是从钢板的无缺陷区和夹杂区的布罗都试验结果中得出的。

检查全部记录可以得出下面两个基本的证明:

1. 夹杂具有位于表面的特征, 但是, 最有害的夹杂不是产品整个表面上都有, 它们在大小不等的范围内以夹杂区的形式不规则地分布着。

2. 从前面的观察看到, 由于夹杂具有局部的特点, 所以机械试验不能获得一种材料对层裂的综合灵敏度。

抽检适合材料的现场检验

由于目前事故的增长与层裂有关, 由于设计方式与金属焊接结构一样花样繁多 (海洋工程或房屋金属结构), 由于大型锅炉的需要, 适用于工业的抽检就显得很有必要。

这种检验方法的选用一般有两种方式:

1. 在钢厂验收产品时, 用研究时使用的设备, 钢板全部浸入水中。

2. 在车间或工地使用时, 运用携带式设备, 产品不必全部浸入水中。

第二种方法是我们力图发展的。

实际上, 研究时所获结果指出:

1. 用聚焦法对钢板进行系统检查既费时间又昂贵。

2. 只有在厚度中对材料发生作用的角焊缝影响区内的夹杂可能被完全检查出来。

看来需要设计和制造一种设备, 其性能要能进行局部检验, 可检平面材料 (如钢板), 也可检型材 (如管节、管子……)。

现有仪器的基本原理

我们对海洋工程结构发生的一些事故进行了局部浸水的人工抽检, 不记录, 效果较好。然而这种方法只能主观地估计不规则的缺陷密度。

这些证明和现场使用条件, 以及结构决定检验设备的综合设计, 其主要部件如下所述。

概括起来仪器包括 (图 4):

探头及支架;

供设备驱动的一套机电系统;

一台带有回波选择器和模拟输出的超声仪;

一台 $x-y$ 记录器;

一台中低压电源稳压装置。

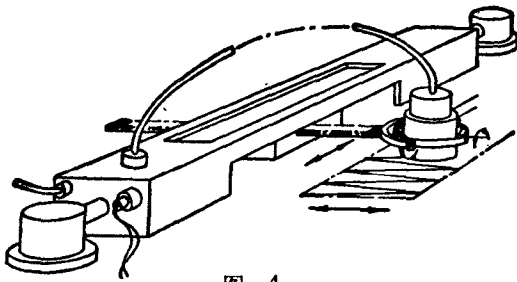


图 4

1. 探头及支架

通过对频率为 4~10 兆赫和水中焦距为 150 毫米的探头试验取得了经验, 这个焦距适于检验最大厚度为 40 毫米的产品。

探头支架为透明的有机玻璃, 使用目的有两个: 一方面保证探头——工件间隙不变, 以便维持扫描范围波束聚焦区, 另一方面, 是为了构成和保持探头与工件表面的耦合液(水)柱。此外, 支架所用的材料要能通过研磨使支架的形状很好地符合被检工件的型面。

2. 驱动机电设备

判断检验区的夹杂密度及其在表面上的分布需要对检验区进行系统的扫描。

现有驱动设备可以对最大尺寸为 250 × 500 毫米的矩形表面进行全面的扫描。在那里波束中心的锯齿形轨迹所画出最小螺距为 0.5 毫米。

多圈电位器可以随着探头移动伺从 x - y 记录器。

3. 超声波发生器

所用的插件结构和手提式仪器可以进行 A 型示波图的观察; 因而可以给它附加一个抽选插件, 其主要作用是保证检验的抽选特点。该机构可以:

在屏幕横向扫描上显示出一个特别亮的区域, 其宽度和位置根据扫描材料层的尺寸(厚和深)特性而定(图 6)。

得到一个可以调节的模拟输出电压“ u_d ”, 它正比于现在抽选范围内示波图上的缺陷回波幅度。

4. 记录器和记录方式

记录系统的设计是为了能完成下述功能:

(1) 迅速地获得产品某确定区域内夹杂状况的粗略显示。

(2) 估计位于层裂临界区的夹杂密度。

所用记录器是一个 x - y 画线台, 灵敏度可调, 画线器的伺服机构根据导向镜头进行。

实际上, 经验表明, 通过探头在材料上的简单移动, 可以迅速而相当客观地估价一个产品的夹杂情况。

因此, x 轴记录器的移动是随从探头运动的, 而探头可以在一个平面或一个曲面上移动, 其轨迹的长度是 500 毫米。

与缺陷回波幅度成正比的模拟输出信号“ U_d ”加上记录器的 y 轴上。

得到的结果以放大图的形式按需要的比例表示出来。它是一连串的波峰, 其数目和幅度表示了所遇夹杂的数量和大小(图 5)。

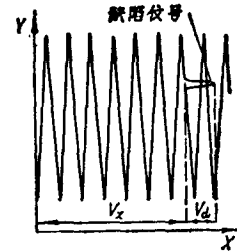


图 5

然而根据记录方式能汇总的特点, 看来最经常地是要对扫描区进行完全的检验。这种检验是根据锯齿扫描进行的(驱动机电设备); 记录器可以画出同样的轨迹, 但比例不同。与探测缺陷相符的“ U_d ”电压, 通过一个总和和设备出现在记录器的通道上。这个设备可以得到与图 6 相似的记录结果。

5. 供电系统

主要为工地或车间检验平钢板或已卷钢板用的这种装置, 出于安全和方便方面的考虑, 可以分两组。

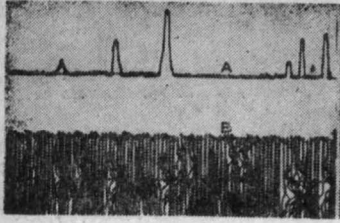


图 6

(1) 指定地点和室内使用的设备

这种设备的控制和显示机构,即稳压装置、超声仪和 $x-y$ 记录器,都装在一起。这类仪器相对地可以远离检验工件,并直接与电网(230伏-50赫芝)相接。

(2) 自动检验设备

这种仪器由带动探头、支架的设备组成,有一个低压(15伏以下)直流稳压系统,目的是为了达到安全标准。

稳压装置和探头驱动设备用一根很长的多股电缆相联。

得到的结果和结论

用这种手提式设备在对一定数量的钢板进行检验中得到的对层裂敏感度结果,与研究时提供的论据完全一样,如图 6A(线性记录)、6B 和图 7(表面记录)。

这一证明使我们想到焊接所研究的抽检法,当它与上面所介绍的设备相配合,就能得到广泛的运用,焊接前用这种方法对尤其将在横方向负荷的区域进行检验,就可以大大避免与层裂有关事故。

参 考 文 献

[1] Evrard M., Videau J. P., Note sur le contrôle par ultrasons des tôles de construction, Rapport

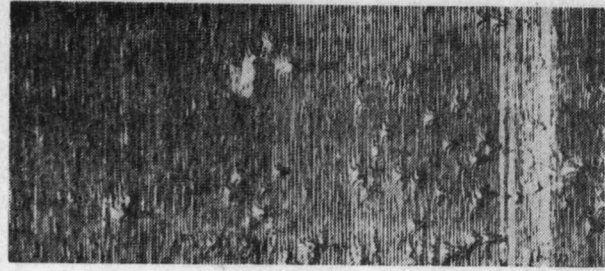


图 7

- n° 4 255 (1961), Institut de Soudure (non publié)
- [2] Evrard M., Le Penven Y., Dubresson J., Etude des essais destructifs et non destructifs susceptibles de caractériser les produits laminés du point de vue de leur sensibilité à l'arrachement lamellaire réalisée dans le cadre de la Convention CECA/IS n° 6210-55/0/11-Rapports 5556, 5559, 5658 (1974)
- [3] Meyer H. J., Rapport d'enquête sur les avaries d'éléments de construction sollicités dans le sens de l'épaisseur des tôles, Soudage dans le Monde, Vol. 11, 7/8, (1973), 186—192
- [4] Bar R., L'influence des défauts présents dans les tôles d'acier sur la qualité des assemblages soudés, Rev. soud., n° 4, (1968), 179—189
- [5] Baker R. G., Newman R. P., Cracking in welds, Met. Constr. & Br. Wdg J., n° 2, (1969), 1—4
- [6] Elliot D. N., A fractographical examination of lamellar tearing in multirun fillet welds, Met. Constr. & Br. Wdg J., n° 2, (1969), 50—57
- [7] Farrar J. C. M., Dolby R. E., Baker R. G., Lamellar tearing in welded structural steels, Wdg Res. suppl., n° 7, (1969), 274—282
- [8] Evrard M., Dubresson J., Le Penven Y., Possibilités offertes par l'examen ultrasonore pour la détermination de la sensibilité d'un produit laminé à l'arrachement lamellaire, Soud. Tec. Conn., n° 9/10, (1974), 385—393
- [9] Dubresson J., Examen par ultrasons de l'état inclusionnaire et relation avec certains essais mécaniques dans le travers-court, Soud. Tec. Conn., Vol. 30, n° 1/2, (1975), 31—54

文隆胜译 梅德松校

热态钢材的超声检验

(法) Albert J. C. Dumont, Fillon J. Pinard J.

【摘要】 法国钢铁科学研究院 (IRSID) 正在继续研究用超声水耦合法检验热轧钢材。用此方法检验 1000°C 左右的不锈钢小钢坯已在工业中得到应用。

引 言

钢材质量的无损检验，一般是在生产流程终了提交用户或作新用途之前进行的。因此，法国钢铁科学研究院研制了一些全自动的、适用于冶金生产过程衔接的检验装置。生产实践表明，这种检验常常是不及时的，而在生产流程的前阶段进行检验则往往是有利的。它能迅速地对前阶段的生产情况作出反应，也有利于提高后阶段的生产率，如设备运行良好，亦可避免再轧制已有缺陷的钢材。

在生产线和生产阶段中进行检验的益处长期以来已被生产管理人员所觉察，但除了一些有限的场合外，一般还不能进行。因为这种检验要在热钢材上进行，而这又是无损检测中非常难于解决的特殊问题。

这种在线热态检验对大钢坯和扁坯一类的坯件特别有利，因为它们都需切掉首尾缺陷部分。特别是沸腾钢或优质钢，如在热切割之前就能通过超声检验对初次缩孔带进行精确定位，则将是非常有益的。本文便是介绍能适应这种用途的方法。

还要指出，这些半成品的热检，日后会得益非浅，因为黑色冶金将不断朝“乘热轧制”方面发展，在这种情况下冷态存放取消了，而必须在热态下对来自板坯初轧机或连铸机的坯料进行检验和清理。

热态检验的可行方案

几乎只有两种方法用于检测大量钢板的内部缺陷：一种是 X 射线或 γ 射线吸收法，另一种是超声法。

1. γ 照相术

想当然，X 射线照相或 γ 射线照相是很适宜于热态检验的，因为用不着与被检件接触就能进行检查。因而法国钢铁科学研究院在过去的三十年中已研制了一种大钢坯的 γ 射线探伤法^[1]。该法自 1966 年起就达到了在工业上应用的阶段，而且自那时起就开始在法国东方公司的工厂中运用。按照轧钢工的看法，这种方法在工业上的采用，就其使用安全、大钢坯缩孔的检测灵敏度和确定切割部位而言，是完全令人满意的^[2]。同时欧洲的其他一些机构也在关心用中子活化或 γ 吸收来检验^[3,4]。他们也证明了 γ 照相术是检测大钢坯的一种可行途径；但在检测扁坯时就不可靠了，因为扁坯中的缩孔遗迹是一种非常平坦的缺陷，用这种基于射线吸收的方法肯定是不易检测出的。另一限度是不用很强的放射源时能够透照的最大厚度，我们将这一限度定在 280 毫米左右处。

2. 超声

超声法对于检验冷钢材的内部缺陷是非常有效的。因而促使人们将其试用于热态检验。最近十年内，世界上许多实验室都在关