

声学译丛

总第15号

超声在工业上的应用

(超声检测专辑)

5

上海市物理学会声学工作委员会主编
上海市科学技术翻译馆出版

声学译丛 总第15号

超声在工业上的应用

(超声检测专辑)

第5辑

上海市物理学会声学工作委员会主编

*

上海市科学技术编译馆出版

(上海南昌路58号)

新华书店上海发行所发行 各地新华书店经售

商务印书馆上海厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 5 1/2 字数 170,000

1964年11月第1版 1964年11月第1次印刷

印数 1-4,000

编 号 : 62 · 133

定 价 : 0.70 元

目 录

1. 潛艇焊縫的超声波檢查·····	N. A. Sinclair 等 ·····	(1)
2. “自动超声”在自动化生产檢驗中的經驗和問題·····	O. Alexander Rankin ···	(7)
3. 近表面缺陷的超声檢驗法·····	Otto R. Gericke ·····	(15)
4. 磁致伸縮超声材料檢驗法·····	Kaule ·····	(19)
5. 超声檢測时缺陷位置的測定·····	Я. Н. Хоффе ·····	(23)
6. 金属部件的声波檢驗·····	E. G. Fuller·····	(25)
7. 渦輪机和压气机轉子叶片裂縫和其它缺陷的超声檢驗···	J. G. Rasmussen·····	(28)
8. 提高反射式超声探伤仪分辨力的途徑·····	Л. С. Шпакоер 等 ·····	(37)
9. 超声探伤仪阻尼压电換能器的研究·····	В. Е. Чекалов 等 ·····	(41)
10. 超声表面波檢查的标准化和应用·····	G. J. Bingzewski·····	(45)
11. 用超声表面波預測疲劳破坏·····	J. G. Rasmussen·····	(51)
12. 氧化层深度的超声測量法·····	И. И. Еропов ·····	(58)
13. 用晶体管邏輯技术的超声測厚仪·····	R. L. Elliot ·····	(61)
14. 超声流量計的温度誤差与若干参数的計算·····	Г. И. Вургом 等 ·····	(65)
15. 測量非稳定性流体的超声流量計·····	В. С. Замлажный ·····	(67)
16. 超声波測量河水流速·····	И. P. Messias ·····	(69)
17. 顆粒体材料用超声料位計·····	В. А. Маркелов ·····	(73)
18. 超声摄象管·····	C. N. Smyth 等 ·····	(75)

潜艇焊缝的超声波检查

N. A. Sinclair, M. M. Nanda

引言

两年前,美国制造了一艘 USS Triton 号潜艇,全长 447 呎、宽 37 呎,使用了 225 吨焊条。由于微小的裂缝和其他焊接缺陷都会造成应力集中,所以焊缝的质量必须很高。

美国电船部根据严格的标准,对潜艇受压船体的全部焊缝都用射线照相进行了检查。由于在应用放射线时必须注意安全,故检查只能在夜间和周末等在场的工人较少的时间内进行。在这种情况下,用超声波检查来代替这种昂贵的检查方法,显然是值得一试的,同时,它还能检查射线所不能发现的裂缝。因此,美国电船部就开始研究在潜艇钢板上用超声波检查焊缝的技术,并开始建立合格与报废的标准。

当时,由于决定要研究是否可能建立一个相当于射线照相标准的超声波标准,制备了在生产中常遇到的各种缺陷的焊接试样,然后用超声波来检查这些试样,并与用射线检查的结果相比,以便衡量超声波法的效果,并由此建立一个有效的超声波检查的合格标准。

焊接试样的制备

在开始研究时,用 HY-80 号钢板制备了一组有各种已知缺陷的焊接试样,所用的母材及焊条的化学成分见表 1。

在制备试样时,使用 MIL-11018 焊条(低氢铁粉焊条)与每吋 47000 焦耳的热量,以金属电弧法

进行人工焊接。与自动焊接法比较,此法会产生不规则的焊波表面。

图 1 所示焊接试样的尺寸为 $10 \times 8 \times 1$ 吋。对焊接的试样在焊后不加工的情况下进行检查,并使之具有纵向及横向裂缝、气孔、夹渣、及未焊透等缺陷。



图 1 焊接试样的检查

为了使焊缝产生纵向裂缝,采用了下列方法:

1. 将钢板放在电冰箱或干冰中冷冻;
2. 焊接前在试样端部焊接钢板,使试样受到再度加上的应力;
3. 使用未烘焙的(高水份的)焊条;
4. 使用小的根部间隙并用高的移动速度。

为了使指定区域产生横向裂缝,事先在堆焊的焊缝中放上生铁屑,然后完成焊接。

气孔用三种方法产生:(1)在焊接时拉长电弧,使熔化的焊接金属接触空气,于是凝固时产生气孔;(2)在焊接前将焊条浸入水中;(3)焊接前在焊条端部除去一些涂层,这样就除去了保护气层。

表 1 HY-80 号钢板和 MIL-11018 焊条的典型化学成分

材 料	成 分, 重 量 百 分 数										
	C	Si	P	S	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Fe
HY-80	0.15	0.22	0.022	0.016	0.21	3.03	1.48	0.44	0.03	—	94.402
MIL-11018	0.10	0.06	0.03	0.03	1.5	2.0	0.4	—	—	0.05	95.83

在某些多层堆积的焊道中留下小块熔渣，以造成夹渣缺陷。

减少输入热量，使焊接金属与基板之间产生粘合不良情况，以获得未焊透缺陷。

用正常的焊接技术制备两块具有健全的焊缝的试样，作为一组控制试样，总计在研究中制备了 18 个焊件，表 2 说明了每个焊件中缺陷的类型。

表 2 焊接试样中缺陷的性质

试 样	缺 陷 类 型
805-1	纵向裂缝
805-2	纵向裂缝
805-3	横向裂缝
805-4	横向裂缝
805-7	夹渣
805-8	健全的焊缝(控制试样)
805-9	气孔
805-10	气孔
805-11	未焊透和气孔
805-12	气孔、纵向裂缝及未焊透
805-13	气孔、纵向裂缝及夹渣
805-14	气孔及横向裂缝
805-15	纵向裂缝和气孔
805-16	未焊透和纵向裂缝
805-17	未焊透和纵向裂缝
805-18	未焊透和夹渣
805-19	未焊透及气孔
805-20	健全的焊缝(控制试样)

超声波检查的步骤

在这一项研究中，使用了 Sperry 厂 UR 式 50 E 600 型反射式探伤仪，其探头为 2.25 兆赫、直径为 3/8 吋的 45 度斜探头，它同时作为焊缝中超声波的发射器和接受器来检查焊缝。用浓度和粘度相当于 SAE 30 号机油的油类作为耦合剂。

图 2 表示用斜探头探测焊缝缺陷时，超声波束经过的路径。

为了探测纵向裂缝，用扫查整个焊缝金属的方法，反复地使探头慢慢移近和离开焊缝。在前后移

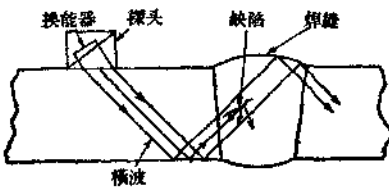


图 2 检查焊缝的方法

动中，为了探测不完全与焊缝中心线平行的缺陷，应不断将探头向两边稍许偏转。为了保证检查彻底，焊缝的两侧和焊件的上下两面都须检验。

检查横向裂缝的方法与纵向裂缝的方法相似，但超声波束的方向与焊缝中心线约成 30 度。在除去焊缝的加强部分后，使波束方向与横向裂缝垂直，则最易探测出横向裂缝。

由于在荧光屏上可以将焊缝加强部分的反射波遮去，故在探测纵向裂缝时，焊缝加强部分并不十分碍事。这种方法与参考文献[1]中的方法相似。在测试时用一块材料和厚度与试样相同的钢板制成试块，此时，在荧光屏上可看到试块上下两个边缘产生的反射波。由于从试块上边缘反射的波程比下边缘的反射波程长，故在荧光屏上它的信号将出现在下边缘反射信号的右边(即时间较晚)。于是，遮去这两个信号就可肯定任何出现在遮蔽区域间的信号均系钢板上下加强部分之间的缺陷。图 1 为全部检查过程，从观察屏上可以看到遮蔽区信号之间有一个缺陷信号。

如钢板很薄，上下边缘的反射信号重迭，则可能遮蔽加强部分，因此，在研究时采用了厚度至少为 1 吋的钢板。

减小超声波束的宽度可使试块边缘的反射信号更为尖锐，并可防止上下边缘的信号交迭，故采用直径为 3/8 吋的探头。

合格与报废的标准

仪器的灵敏度及焊缝的合格与报废标准，是利用美国机械工程师学会(ASME)提出的超声检查标准 UW-53 中规定的标准参考试块来确定的。参考试块的材料和厚度与被检查的钢板相同。用表面磨光的 HY-80 钢板制成 12×4×1 吋的参考试块，在参考试块的一面、离一端 2 吋处钻一直径为 1/16 吋、深 1/2 吋的孔。检查此孔，并校正仪器灵敏度。为了便于以后进行数值上的比较，灵敏度控制器放在 3 的位置，以得到满格幅度。虽然其他的控制器亦能影响灵敏度，但在研究过程中均使之维持不变。按照 ASME UW-53 标准，凡缺陷所产生的反射信号大于 1.8 吋或满格幅度的 60% 以上时，即予报废。

有一种意见认为，应当根据缺陷的大小和缺陷信号幅度来决定合格或报废的标准。如缺陷直径 D_f 在投射至垂直于波束方向的平面时，小于超声波

束直徑 D_b ，則此意見是正確的。但如 D_f 大于 D_b ，則信號振幅只能表示缺陷的類型而不易表示其大小。當缺陷直徑是波束直徑的兩倍或三倍時，從圓盤形缺陷上接收到的信號強度是相同的。因此，對於所有直徑大于波束直徑的缺陷，超聲反射信號的幅度是不變的，缺陷大小和信號振幅之間的關係只適用於缺陷較小的情況。信號的幅度很可能是由缺陷的類型（以及缺陷的方向）來決定的，例如一個裂縫所反射的聲波能量就大于夾渣等固體缺陷所反射的能量。在這種情況下，只能用一個狹的波束來逐點測出它的邊界而決定缺陷的大小。

如前所述，為了更好地分開焊縫加強部分的上下面，從而消除由焊縫加強部分產生的反射信號，應採用狹的超聲波。因此，對於大多數重要的焊接缺陷（如大裂縫等）來說，往往都是大于波束直徑的。

當缺陷直徑小于波束直徑時，如在有氣孔和小夾渣的情況下，缺陷大小的不同將影響信號振幅。這樣，振幅就可以表示缺陷的大小。同時，換能器至缺陷的距離也將影響振幅，此外還應考慮近場區和遠場區的影響。當缺陷在遠場區域中，信號高度與距離成比例，但當缺陷較接近超聲換能器時，它就進入近場區域（或稱 Fresnel 區域），這個區域的長度可由下式決定：

$$N = \frac{D_b^2}{4\lambda}$$

式中 N 為近場區域的長度， D_b 為波束直徑， λ 為波長。

當 $D_f = D_b$ 時，在近場區域中信號振幅不變，並與換能器至缺陷的距離無關。但當 D_f 小于 D_b 時，近場區域中的信號振幅將隨缺陷至換能器的距離作周期性的變化。在檢查這些缺陷時，應將換能器放在適當的位置上，使缺陷處於幅度隨距離變化時無反常現象的遠場區內。

對 45° 斜探頭來說，超聲波束約在 $\sqrt{2}t$ (t = 鋼板厚度) 的距離上進入焊縫金屬。對於一吋厚的鋼板，進入距離是 1.4 吋。這就表示，如果採用頻率為 2.25 兆赫、直徑為 3/8 吋的晶體，則可在遠場區域中測得焊接缺陷，因為對此晶體來說 $N = 0.284$ 吋^[2]，故在此研究中，近場區的效應是不重要的。

結 果

表 3 中列出了對試板用超聲波和射綫檢查的結果。對於一部分焊接試板，曾經把它們切割開來，用

目測法檢視並測量裂縫尺寸，以便確定裂縫尺寸與超聲信號振幅之間的關係。

表 3 對縱向和橫向裂縫用超聲波、射綫和目測法探測的結果

(探傷儀控制器放在“3”位置上)

缺陷类型	焊接試板及缺陷編號	裂縫距 Δ 端的位置 (吋)	用超聲方法測得的裂縫長度 (吋)	反 射 波 振 幅 (吋) ^b	射綫探測	目測方法	
						能否看到裂縫	裂縫深度 (吋)
縱向裂縫	1-1	7 ¹ / ₂	7/8	1.8~>3 ^a	能	能	0.492
	1-2	5 ¹ / ₂	1 ¹ / ₂	1.4~2.6	能	能	0.118
	1-3	1 ¹ / ₂	3/8	1.8~2.0	能	能	...
	1-4	1 ³ / ₄	5/8	1.8	不能	不能	...
	2-1	8 ¹ / ₄	1/2	2.4~2.6	能	能	0.230
	2-2	1 ³ / ₈	2 ³ / ₄	1.6~>3	能	能	0.230
	12-1	3	1/4	1.6~1.8	不能	...	...
	12-2	3 ³ / ₄	1 ¹ / ₄	2.0~3.0	能 ^d	...	...
	13-1	1 ³ / ₄	5	1.6~>3	不能 ^e	能	0.197
	13-2	6 ¹ / ₂	2 ¹ / ₂	2.4~>3	能	能	0.276
橫向裂縫	13-3	7 ³ / ₄	1 ¹ / ₈	1.8~2.4	能	能	0.118
	15-1	8	1	2.0~>3	能	...	...
	16-1	1	10	1.8~>3	能 ^f	能 ^g	0.248
	17-1	3	4 ¹ / ₂	1.8~>3	能 ^h	...	...
	17-2	8 ¹ / ₂	1	2.2~2.8	能	...	...
	3-1	6~1 ¹⁵ / ₁₆	1/4	1.6	不能	能	0.10
	3-2	6 ³ / ₈	3/4	>3	不能	能 ^j	0.09
	4-1	7	7/16	0.8~2.8	不能	不能 ^k	...
橫向裂縫	4-2	6	1/2	0.8~3.0	不能	不能	...
	14-1 ¹	4 ⁷ / ₈	1/4 ^k	0.8	能	...	...
	14-2	5 ³ / ₈	1/2 ^k	0	能	...	...
	14-3	5 ³ / ₄	3/8 ^k	1.2	能	...	...
	14-4	6 ¹ / ₈	3/8 ^k	2.2	能	...	...

a. 幅度 > 3 的信號都大于 3 吋，並且超出觀察屏上的垂直刻度；

b. 信號大于 1.8 吋的都應報廢；

c. 虛綫表示這些試板是未經切割的；

d. 在射綫照相中發現的裂縫長 3/4 吋；

e. 在射綫照片上，顯示出的未焊透現象遮蔽了裂縫；

f. 在射綫照片上一個裂縫長 3/8 吋，另一裂縫長 1¹/₄ 吋；

g. 裂縫貫穿整個焊縫；

h. 在射綫照片上有二個裂縫，一個長 1 吋，另一個長 2 吋；

i. 在 14 號及 3 和 4 號試板上都未除去焊縫加強部分；

j. 發現 4 個橫向裂縫；

k. 裂縫長度由射綫照相法測定；

l. 當控制器在此位置時，試塊孔上能產生滿格幅度的信號

从表 3 中可看到：对于 75% (24 个中的 18 个) 的裂缝来说，超声和射线检查的结果很相符。对于 1-1、1-2、1-3、2-1、2-2、13-2、13-3 及 17-2 号缺陷，用超声波、射线和目测法检验的结果也颇为相符。我们发现，在所有情况下，用超声波法发现的这些纵向裂缝都是应当报废的，纵向裂缝 1-4，虽由超声波法发现应予报废，但不能用目测法观察到，它可能是 1-3 纵向裂缝延伸的结果。缺陷 12-1 和 13-1 虽然按照超声波和目测检验的结果应当报废，但是在射线照片上却不能发现缺陷。同样，缺陷 12-2、15-1、16-1 和 17-1 按照超声检查标准，是应当报废的，但在射线照片上只显示很模糊的，或者较超声检查结果短得多的裂缝。

对于横向焊缝，例如在 3 号和 4 号试板上，在磨去焊缝加强部分之后，因为可以使探头沿着焊肉顶部移动，检测的效果最好。在有焊缝加强部分存在时，例如在现场焊接的焊缝上，如果将探头放在焊缝加强部分上，就不能使波束垂直于横向裂缝，而必须使波束与底板表面成一锐角。在 3 号和 4 号试板上，当焊缝加强部分存在时，不论应用超声或用射线照相法，都不能检测到横向裂缝。只有在消除焊缝加强部分之后，才可能用超声方法检测到横向裂缝；从目测结果来看，除去一例外，其余试样都看到横向裂缝。

在 14 号试板上的裂缝要比 3 号和 4 号试板上的裂缝大得多，可以用射线探测出来。在应用超声方法检查时，也发现了这个缺陷，但所得到的信号大多不强，根据标准不足以报废。



图 3a 在 3 号焊接试板上的 2 号应报废的纵向裂缝 (约为原寸 0.83 倍)



图 3b 在 3 号焊接试板上的横向裂缝 (放大 2.1 倍)

图 3 是两张裂缝的照片，它们是用超声波发现的。在图 3a 中，2 号试板上的 2 号纵向裂缝长 $2\frac{3}{4}$ 吋，深 0.23 吋，所产生的信号幅度大于 3 吋。图 3b 是 3 号试板的四个横向裂缝。1 号裂缝约深 0.09 吋，长 0.75 吋，所产生的信号幅度大于 3 吋；2 号裂缝约深 0.10 吋，长 0.25 吋，所产生的信号振幅为 1.6 吋。

气孔和夹渣

7~19 号焊接试板的焊缝有气孔、夹渣和未焊透等缺陷，其中几个焊缝还有裂缝。

当探伤仪灵敏度控制器放在 3 处，即保持在检查裂缝时的灵敏度，气孔和夹渣所反射的信号幅度甚低于报废标准。将灵敏度控制器的调定值提高后，探伤仪就足以发现应报废的气孔和夹渣。但为了探测这些缺陷而增加灵敏度是不切合实际的，因为事实上要使气孔和夹渣有适当的标准，就将对裂缝提出更严格的标准。再者，根据超声信号的特征来分辨不同类型的缺陷也是不可靠的。因此，对于不同类型的缺陷，不能采用不同的标准。如果有一种通用的方法能分辨气孔、夹渣和未焊透等缺陷所产生的反射，则除裂缝外可能再建立一个适用于其他缺陷的标准。

7~10 号试板曾以超声波来检查气孔和夹渣。当灵敏度控制在 3 吋 (即由标准确定的水平)，缺陷信号的幅度很低，以致必须将灵敏度增加到 6 才能获得足够的振幅范围。当然，这些缺陷都没有达到报废裂缝的标准。从气孔和夹渣上产生的反射振幅如表 4 所示。

在焊接试板 11~19 号上，检查了气孔、夹渣和未焊透。当仪器的灵敏度控制器调定在 3 吋，这些缺陷所产生的信号幅度能达到适当的范围。表 5 中列出了气孔、夹渣和未焊透区域产生的反射波振幅。这些缺陷都能由射线法测出，在切割开的试样中也都看出这些缺陷。

由表 5 可看出，在焊接试板 11~19 中，由夹渣、气孔和未焊透区域反射的超声信号幅度是低的。这些缺陷只有在切割开后发现它们附有裂缝才可以报废，而射线检验也断定其中的大多数应当报废。未焊透的缺陷和裂缝相似，也能对超声波产生反射作用，但却探测不出。这可能是由于在探测时，未焊透区域的方位与探头位置配合得不好的缘故。

表4 在焊接試板7~10号中,气孔和夹渣区的
超声检查結果,探伤仪灵敏度控制器放在6处

缺陷类型	試板和缺陷編号	缺陷距A端的位置(吋)	信号幅度(吋)
射线照相法发现的夹渣	7-1	1/2	>3*
	7-2	1 ¹ / ₂	>3
	7-3	2 ¹ / ₂	2.6
	7-4	4 ¹ / ₄	2.6
	7-5	5 ¹ / ₄	2.8
	7-6	5 ³ / ₄	2.6~3.0
	7-7	6 ³ / ₈	2.4
	7-8	7.0	2.2~>3
	7-9	7 ¹ / ₂	2.8~3.0
	7-10	9.0	2.8~>3
	8-1	4 ⁵ / ₈ ~5 ¹ / ₈	2.4~>3
	8-2	9 ³ / ₄	2.0~3.0
	9-1	7 ¹ / ₂	0.8~1.6
射线照相法发现的气孔	10-1	5/8	1.8~>3
	10-2	3 ¹ / ₄	2.0~2.8
	8-1	1/4	2.2
	9-1	3~4	~3
超声波法在此灵敏度下发现的射綫照相不能发现的其它缺陷†	9-2	4 ³ / ₄ ~6	1.2~>3
	10-1	5 ¹ / ₈ ~5 ³ / ₄	3.0~>3
	7-1	4.0	1.4~>3
	7-2	6 ⁵ / ₈	2.2
	7-3	8.0	2.6~2.8
	7-4	8 ¹ / ₂	2.2~>3
	8-1	2.0	1.8
	8-2	6 ¹ / ₂	1.6~2.6
	8-3	8.0	1.2~2.6
	8-4	8 ¹ / ₂ ~9 ¹ / ₂	2.0~3
超声波法在此灵敏度下发现的射綫照相不能发现的其它缺陷†	9-1	2.0~2 ¹ / ₂	2.0~>3
	10-1	2.0	1.4~1.8

* 灵敏度在“6”吋的信号幅度为3吋,約相当于灵敏度在“3”吋,3/8吋高的幅度;

† 这些缺陷可能是很小的裂縫,亦可能是微裂縫和微小的气孔等

表5 在焊接試板11~19号中气孔、夹渣和未焊透等缺陷的超声检查結果,在超声波檢驗中,仪器灵敏度控制器放在3处,所有这些缺陷都可用射綫照相法探出

缺陷类型	試板及缺陷編号	距缺陷A端的位置(吋)	信号幅度(吋)	备 注
夹渣	11-1	3 ³ / ₈	1.4	未切开* 在切割开后都发现了夹渣
	11-2	5 ¹ / ₂	1.4	
	12-1	8.0	1.6	
	13-1	穿透試板	1.0~1.8	
	15-1	8 ⁷ / ₈	1.2	
	18-1	1	1.4	
	18-2	2 ¹ / ₂	1.8	
	18-3	6 ³ / ₄	1.4	
	18-4	8	1.0~1.6	
	19-1	5	0.8	
气孔	19-2	6 ³ / ₄	0.6	切开后在气孔区发现夹渣及裂縫
	11-1	2 ¹ / ₂ ~3 ¹ / ₄	1.0~1.4	
	11-2	4.0~4 ⁵ / ₄	1.4~1.8	
	12-1	2.0~3 ¹ / ₂	1.2~1.8	
	13-1†	3 ¹ / ₂ ~4 ¹ / ₄	1.0~3.0	
	14-1	1/2~1 ¹ / ₂	0.8~1.6	
	15-1	4.0~4 ¹ / ₂	...	
	15-2†	6 ¹ / ₂ ~7 ⁵ / ₈	1.2~1.8	
	16-1†	8 ¹ / ₄ ~8 ¹ / ₂	1.8	
	19-1	8 ¹ / ₄ ~9 ¹ / ₂	1.0	
未焊透	11-1	貫穿焊縫全长	1.0~1.4	切开后沿未焊透区域发现裂縫(在射綫照片上未看到裂縫)
	12-1	0~1 ³ / ₈	1.2	
	12-2	5 ¹ / ₂ ~9 ¹ / ₄	1.0~1.2	
	14-1	1 ¹ / ₂ ~2 ¹ / ₂	1.2~1.4	
	14-2	6 ¹ / ₂ ~10.0	1.0~1.2	
	15-1	4 ¹ / ₂ ~6 ¹ / ₂	1.4	
	16-1††	貫穿焊縫全长	1.4~>3	
	17-1	0~3 ¹ / ₄	1.0~1.6	
	18-2	貫穿焊縫全长	1.0~1.6	
	19-1	貫穿焊縫全长	1.0~1.6	

* 只切开了13及16号試板;

† 不重要的气孔型缺陷;

†† 一个不重要的未焊透缺陷

結 論

由以上的研究可以得到下列結論：

1. 为了探测纵向焊接裂縫，发展了超声检测方法：

2. 建立缺陷解釋标准是不可能的。在观察屏上还不能有把握地区別裂縫、夹渣或气孔的信号。在有些情况下虽然可以辨認气孔所产生的信号波形，但这种区别方法并不是始終可靠的，还不足以对各种缺陷分別建立标准。在未能有把握地根据观察屏上的信号特征得出分辨缺陷类型的方法之前，只能对所有的缺陷都采用一个标准；

3. 对于1~2吋厚的 HY-80 鋼板上的焊縫，发展了用于纵向裂縫的合格与报废标准。在研究了 ASME 建議的焊縫超声波檢查标准后发现：这个标准能决定用射线法发现的纵向裂縫是否应当报废，但不适用于气孔、夹渣和未焊透等缺陷。可以相信，由于未焊透缺陷的反射面完全平坦，它們的反射能力甚至比裂縫更大，但只有在这种平面准确垂直于波束方向时，上述論断才是准确的。但裂縫的表面却是不規則的，因此对波束方向沒有这样敏感。

在除去焊縫的加强部分后，由于探头能垂直地对准裂縫移动，故可以同样地探测出横向裂縫与纵向裂縫，但在横向裂縫上部存在着焊縫加强部分时，

就不能用垂直波束探测。当相对于垂直方向的探测角度增大时，裂縫上的信号很快地减弱，在波束方向与焊縫中心綫成 30° 角时，只能探测到最大的横向裂縫，在角度大于 35° 或 45° 时，信号常减弱至零。由于經常存在焊縫加强部分，虽然进一步的研究或将有益，但目前还不能在实际工作中用超声波探测横向裂縫。

由于纵向裂縫能在强度較弱的焊接金属中繼續发展，它的长度可能大于横向裂縫，而气孔和夹渣則不象裂縫那样危險，因此可以相信：用超声波檢查焊縫的纵向裂縫，是一种有价值而实用的檢查方法。

超声方法还可檢查較小的裂縫，而射线法却不可能探到，这仅需建立一个标准，使仪器能在較高的灵敏度下工作。

参 考 文 献

- [1] Bobbin, J. E.: "Ultrasonic Weld Inspection", Nondestructive Testing, XVII, No. 1 (Jan.-Feb. 1959).
- [2] Sproule, D. G.: "Ultrasonic Testing of Welds", British Welding Journal, Vol. 6, No. 10 (Oct. 1959).

(陈祝年譯自美国《Nondestructive Testing》1961
年第 19 卷第 1 期第 58~64 頁，黃广錄校)



“自动超声”在自动化生产 檢驗中的經驗和問題

C. Alexander Rankin

一、引言

目前，超声探伤中尚有許多重要的基本問題沒有解决。虽然超声檢驗方法还有很多缺点，但在实际工作中却仍然应用得很广。近几年来，为了处理在大規模生产中檢驗材料的问题，已經研究出了半自动和全自动的超声檢驗技术。随着时代的进展，由于采用了各种装置，目前已經克服了许多实际工作中存在的困难。本文所要討論的，即为其中的一些装置。

二、自动超声与超声

本文所研究的，主要是生产工作中的自动化超声檢驗。为简便起见，可称之为“自动超声”(Autosonics)。这种技术可以作为通常称为超声法的手工操作檢驗技术的一种輔助方法。显然，無論在静态或动态条件下用任何一种超声方法进行檢驗，都仍存在着相同的基本問題。但可以预料，在动态条件下，会产生特別需要注意的新問題。

首先，可以綜述一下超声檢驗过程中的某些基本困难。当声能从一种介质进入另一种介质时，必然会有很大的損耗，通常是反射損耗。探头的指向性可能因受檢金属的微观結構特征而呈严重的歪曲。即使在最好的檢驗条件下，通常对缺陷大小的测量，也只能认为是半定量的。

手工操作超声檢驗法的成效往往取决于操作者的技术和經驗。操作者能够根据各种綫索和推論，以及他对試样的冶金特征方面的丰富經驗和大量有关試驗，就能对檢驗結果提出可靠的解釋。但自动超声則在实际檢驗过程中完全依靠电子仪器和机械装置；在識別和处理不正常情况时不象操作者那样具有适应能力。因此，在设计仪器时，必須仔細地考虑对檢驗結果有影响的各種因素以及被檢对象。这些

情况对仪器設計者提出了許多迫切需要解决的問題。由于要設計专用的特殊仪器，设备的成本必然很高，同时，在保证适当的修理方面也会产生暂时的困难，因此，最好是采用“单元結構”的原理来設計仪器设备。在大部分的专用装置中都采用标准的基本元件。图1所示就是这种自动超声设备的一个例子。

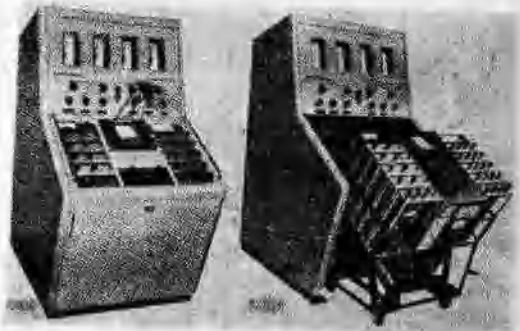


图1 四通道自动超声控制台

三、应用自动超声的技术問題

現在我們准备来討論应用自动超声时的一些技术問題，以及在解决这些問題时取得的某些經驗。

当然，对于所用的技术应当根据很多不同的因素来选择，而且，其中有些因素还是相互关联的。例如，在选择頻率时，最重要的因素有：

- 所探测的缺陷的最小尺寸及其形状和方位；
- 离工件表面最近而仍能探测到缺陷的距离；
- 构成缺陷的物质，在某些情况下还要考虑到缺陷的厚度；
- 被檢驗材料的微观結構特征和洁净度；
- 材料彈性的各向异性；
- 表面情况；
- 被檢驗材料的厚度和形状。

也可列出相似的表格,說明選擇探頭的大小、型式、入射角和所產生的振動方式等有关因素,表1是供核對用的,它可促使我們在選定所用的技術之前,對各項因素都加以適當的考慮。

表1 在選擇頻率、探頭尺寸和探頭型式時所應考慮的各種因素

		頻率	探頭尺寸	探頭型式
1	工件厚度	A	C	A
2	工件形狀	A	A	A
3	工件與其附着物的關係	—	A	B
4	工件溫度	C	—	A
5	工件中缺陷的位置	A	A	A
6	工件中缺陷的數量	B	A	B
7	所探測的缺陷的最小尺寸	A	A	B
8	缺陷的形狀和方位	A	A	A
9	與所應探測的缺陷相隔的最短距離	A	A	A
10	構成缺陷的物質	A	C	A
11	缺陷厚度	A	C	A
12	金屬的微观結構	A	A	B
13	彈性的各向異性(單晶体)	A	A	B
14	彈性的各向異性(多晶体)	B	B	B
15	超聲波速度	A	C	C
16	超聲波的衰減	A	C	B
17	工件的潔淨度	A	A	B
18	表面情況	A	A	A
19	所需的耦合劑	—	A	A
20	在單位面積上進行檢驗的容許時間	—	A	C
21	顯示探測結果的方法	—	A	C
22	在分析缺陷時要求達到的程度	A	A	A

A 代表應優先考慮的因素;

B 代表次要考慮的因素;

C 代表最後考慮的因素

1. 聲耦合問題

為了避免對所有因素及相互關係進行非常複雜的討論,可以先研究一個特殊的問題。其中,最重要的問題是如何保證換能器發出的能量能妥善地傳輸到被檢驗材料中,然後被傳輸出來,在手工操作檢驗中,通常都是用一層薄的油膜來傳送能量的。但是,在大規模生產中應用自動超聲檢驗時,這種方法往往就不適用,因為不僅探頭可能受到機械磨損,而且要使油膜保持均勻也很困難。此外,滑動接觸會引起摩擦噪聲,其中的超聲成分會在接收放大器上產生許多瞬時假信號,由於它們在 A 型顯示器的時間

掃描基線上是不固定的,警惕的操作者在觀察時就可不考慮這些瞬時信號。當然,我們可能設計出一種能抑制瞬時信號而只容許具有一定的穩定性的缺陷信號通過的閘門電路,但當探頭以高速移動時,由於缺陷信號出現的時間很短,很難將它們與瞬時的假信號區別開來。

為了提高耦合的穩定性,並避免摩擦噪聲,過去曾經設計了各種裝置。其中以威爾遜所提出的解決方法為最早,即在被檢驗材料和探頭間插入一層橡皮尼隆布。這種塑料膜仍然使用得很普遍,而且往往製成環狀循環帶的形式。但最著名的可能是在美國高度發展的液浸檢驗法,當然,這種方法使聲耦合的穩定性有了顯著的提高。在液浸檢驗法中,已發現波幅可能有三與一之比的变化,通常,這都是由於探頭軸線对被檢驗材料表面的位置發生变化,以致入射角和折射角發生变化而引起的。因為聲速在水與鋼或輕合金中的变化約為 4 倍,顯然,當入射角稍有变化時,折射角應發生 4 倍於此的变化。為了克服這種因被檢驗材料表面歪斜所引起的变化,應用希特(Hitt)所創造的外形追蹤器可以收到很好的效果。

顯然,在解決耦合問題上,液浸檢驗法並不是萬能的。在鋼廠中工件用這種方法處理就往往顯得過於沉重,而在工程結構上則完全不可能採用這種方法。過去曾經有人仿效液浸檢驗法的原理製成充水探頭,但由於在換能器與試樣之間的一股水柱中,難免產生渦流和空氣,故從未真正取得成效。當然,也有一個次要問題,即在浸液法中,離工件表面最近而仍能探測到缺陷的距離,要受到超聲發射脈沖長度的限制。在最佳情況下,振蕩頻率約 6 赫。在鋼鉄中使用 2.5 兆赫頻率時產生的死區約為 15 毫米。在檢驗鋁和鎂時,用極高的頻率可以使這個死區減少到最低限度,但在彈性各向異性較大而晶粒為中等尺寸的合金鋼中,使用這種高頻率會引起過量的超聲散射。

2. 雙換能器探頭

在英國的超聲檢驗技術中,常有使用雙換能器探頭的趨勢。接在探頭中的發射元件和接收元件在電和聲方面都是彼此隔離的(圖 2)。此種技術是由於可探測到被檢驗材料近表面的缺陷而提出的,因為在必要時,即使在發射脈沖停止之前,也顯然有可能接受到缺陷的反射信號。在這種情況下,脈沖長度並不是一個關鍵性問題。在自動超聲中,應用

这种双换能器探头也有很多优点,因为,如果在探头和材料表面間有一个充滿水的小間隙,則在此薄水层中的多次反射就不会在接收放大器中产生很大的界面反射信号。而在同样条件下,如果用一个换能器同时作为发射器和接受器,就会产生这种反射。在应用“間隙扫描”(gap scanning)的双换能器探头以高速度进行测量时,耦合条件是非常稳定的。作者曾在实验室中用9毫米厚的轧制鋼板进行試驗,証明在频率为5兆赫、間隙为0.1毫米,而移动速度超过150米/分时,傳送信号的变化不大于3分貝。

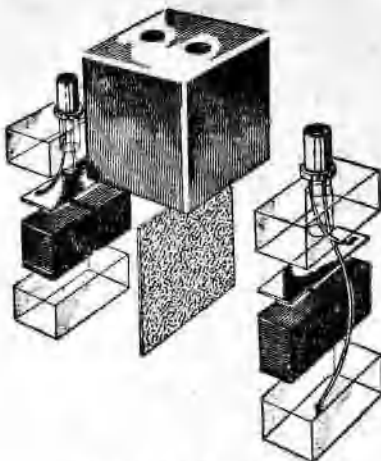


图2 双换能器探头的解剖图

在正常的檢驗条件下,此种探头能探测到距离很近的小缺陷。例如,在频率为2.5兆赫时,应用間隙扫描技术就很容易探测到与表面相距2毫米、直径为1.5毫米的平底孔。图3所示为双换能器探头的灵敏度与深度关系的典型曲线。为了在粗糙表面上获得不变的間隙,在設計間隙扫描探头的安装方式时必须十分仔細。在檢驗鋼板和其他表面积很大的工件时,曾經設計了一种带有弹簧平衡环的探头架,无论探头向哪个方向移动,它都能达到完全浮动的作用。

图4所示为用以說明某些技术設計的一个不常見的例子。在这种特殊用途中,所檢驗的是一种横截面为长方形,經過拉制的耐高温合金材料。这种材料的表面很粗糙,有很多皺紋,而且有厚而緊貼的氧化层。在高温控制过程中,这种棒材会弯曲和扭轉。有效宽度为60毫米的双换能器探头以与通常的习惯相反的方向倒装在一个夹具上。图4与5所示为探头夹具的詳細机械結構,其中被檢驗材料与两个平行的滾輪相互接触,探头表面較滾輪約低几分之

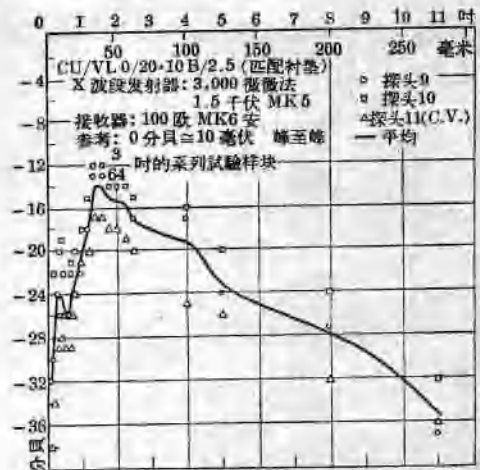


图3 通用型探头的灵敏度-深度特性曲线

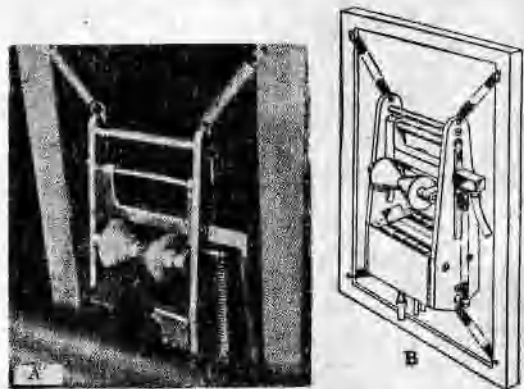


图4 自动超声檢驗控制材料时所用的探头装置

一毫米。用两套錐形滾筒,可以自动地将10至50毫米²内的任何大小的材料調节在中心位置并压紧在平行滾輪上。整个探头夹具由4个彈簧吊在坚固的方形框架中,能自由地沿任何方向移动,以适应棒材弯曲和扭轉的情况。在通常的情况下,除非由于在两套滾輪之間的局部弯曲,夹具对探头表面与試样之間的間隙厚度并无影响。从实际的試驗来看,間隙厚度的变化也是可以計的。

为了获得声耦合条件,将水导入探头,而由滾輪将水分布在工作与探头表面之間。当工件截面小于50毫米²时,在探头表面暴露部分“堆积”起来的水会引起噪声,其强度足以遮蔽小缺陷的信号,尤其是在缺陷接近下表面时。为了消除这种缺点,可以将压缩空气垂直地喷射在探头的整个宽度上,来吹去工件未能遮住的探头表面上的积水。用这种探头装置进行試驗时,即使檢驗速度达到20米/分,耦合情况也足以使信号强度的变化稳定地保持在几十分貝的

范围内。从多次试验的结果来看,所得到的超声响应几乎完全一致。对于与工件表面相距 2 毫米、直径为 1.5 毫米的缺陷,探测的结果很准确,而且毫不困难。

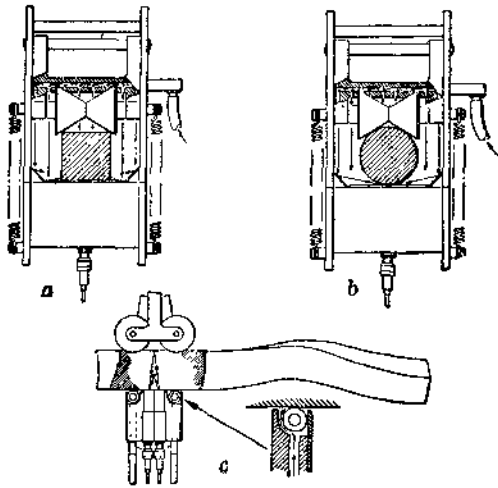


图 5 检验控制材料的探头原理

这些例子可以说明我们在超声耦合问题上的观点。但我们认为间隙法只是液浸法的辅助方法,并不能在所有情况下都代替液浸法。例如,目前在处理锻造的飞机透平叶轮等形状复杂的工件时,就只能应用液浸法。

如果承认在高速检验时可以获得相当均匀的耦合条件,则在自动超声检验中所存在的其他特殊问题是:

- 由于设备老化而引起的灵敏度的缓慢变化;
- 超声波在被检验材料中衰减情况的变化;
- 由于表面情况的变化或弹性各向异性的轻微变化所引起的主波束折射角的变化。

四、“失效转为安全” (Fail to Safe) 法

在生产检验中,最重要的是探伤的标准必须保持不变。从仪器的性能来看,可考虑采用标准试块的方法来解决这个问题。但是,如果表面情况或材料本身的衰减特性发生变化,则不能确实地保证所测得的相当于标准反射面的缺陷反射幅度是可靠的。因此,我们在设计具有若干“失效转为安全”特征的设

备时,十分慎重;以下所述即为其中的一些特征。

中的主要装置为一通用的脉冲反射式探伤仪,可以与一架或几架闸门式缺陷放大器同时工作。在发射脉冲的瞬间,闸门放大器可以连续改变其位置与宽度。当然,在开始发射后,闸门的灵敏度应当尽可能迅速地达到最高值,并在脉冲持续时间

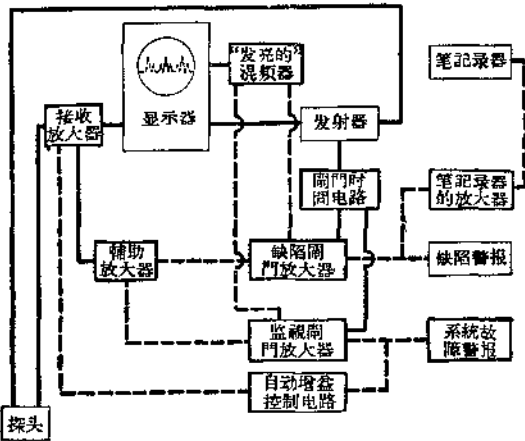


图 6 自动超声电子设备的方块图

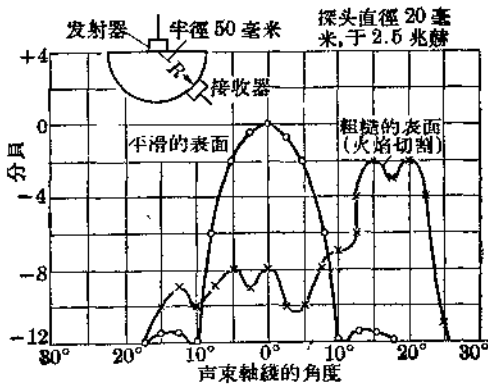


图 7 由粗糙表面所引起的指向特性的畸变

1. 自动增益控制

这种设备的特点在于采用了自动增益控制与系统故障报警电路。其中,用一个选定的信号的峰值振幅,在主放大器中产生一个反馈偏压,而当此峰值振幅发生变化时,经过校正即可使参考信号回复到原有的电平。显然,自动增益控制有赖于选用适当的监视信号,而且通常是从试样底面反射的界面信号。它的响应特性是能容许灵敏度的变化达到 40 分贝,而在脉冲重复频率为 50 赫时能在几分之一秒的时间内完成校正作用;若脉冲重复频率较高,则反

应速度亦相应增大。系统故障警报装置的作用是，当监视信号低于某一预定电平时，例如在低于自动增益控制电路所控制的限度时，它能够发出警号声，或在必要时制止探头扫描机构的作用。

显然，自动增益控制技术的效用应视能否得到适当的监视信号而定，因此，以底面反射波作为参考信号是否适当就是一个值得考虑的问题。

从理论上讲，在使用垂直探头时，底面反射波的幅度，应视被检验材料的表面情况、衰减特性、耦合情况的变化以及灵敏度的变化而定。在采用自动增益控制时，有一个必须满足的条件，即这些因素应只对振幅有影响，而不影响到探头的指向特性。一般地说，在实际工作中，这个条件是可以实现的，而且几乎在所有的“新轧制”和拉制的材料表面上都肯定可以实现。在使用液浸法及间隙检验法时，所测得的指向特性通常仅在主波束方向有少量的角度变化；因此，除非使用方向性极强的波束，在这一方面并不会引起严重的困难。从我们实验室最近研究的结果以及斯普诺尔(Sproule)的研究来看，都证实了在使用垂直探头与斜探头时，这个论断通常都是正确的。当然，如果表面很粗糙，而声能必须通过的那些表面不但与入射方向成相当大的角度，并且宽达几个波长，指向特性显然就要受到严重的歪曲。在这种情况下，对底面回波进行自动增益控制是不合理的(图7)。

2. 缺陷反射波与底面反射波幅度关系

缺陷反射波和底面反射波幅度之间的关系，也是必须考虑的一个问题。如果我们只对底面反射波用闸门放大器来监视，而缺陷很大，那末底面反射波就显然会减弱或消失，此时系统故障警报器就会报警。为了避免此种情况，需要调节监视闸门放大器，使它能包括整个材料的截面和几个底面反射波，在这些条件下，如果缺陷反射波的幅度超过底面反射波的幅度，则所控制的电平应根据缺陷反射波的幅度来确定。如缺陷反射波的幅度低于底面反射波的幅度，而底面反射因缺陷的遮蔽效应而减低，则缺陷反射波的幅度将增加，而超过其正常数值。实际上，除非缺陷可与探头面积相比，否则此种使缺陷显得过大的作用并不严重。但在这种情况下，这些缺陷几乎都是应予报废而不需要经过分析的。图8所示为用波束有效直径为12毫米的探头，在60毫米厚的铝板中，测量深度在44毫米的缺陷时所得到的一些典型结果。图中的缺陷反射信号的幅度，是对所

钻出的一组大小依次递增的平底孔，在使用和不使用自动增益控制时测得的。可以看出，缺陷直径达6毫米时，缺陷信号幅度的夸大还是不严重的。

此外，以常规方法用钻有已知大小平底孔的试块来确定检验标准，并使用自动增益控制系统，则可将幅度的这种微小误差考虑在内。同时，在可能情况下，选择其有效波束截面比需要正确测量的缺陷面积大得多的探头，则对幅度的夸大作用也可忽视。

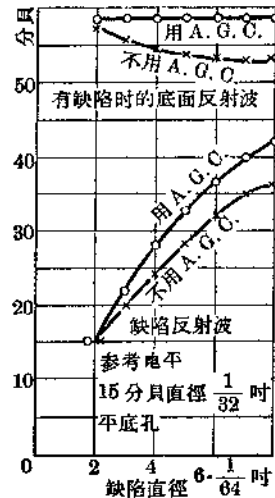


图8 当底面反射减弱时，自动增益控制(简称 A. G. C.)对缺陷反射波幅度的影响

3. 超声波的衰减

衰减变化是应当和自动增益控制结合起来讨论的另一因素。首先，应选择在一个在晶粒大小变化时衰减变化很小的波长。但由于其他因素，例如所探测的缺陷的最小尺寸、所要求的指向性、分辨能力等，要选择这样的波长并不一定可能。同时，在衰减情况差别很大时，对底面信号采用自动增益控制，往往会将缺陷反射波幅度校正得过多；但只要衰减变化较小(在对晶粒大小加以控制的金属工件中常会如此)，产生的误差就不大。图9所示为在衰减差别很大的钢试样上获得的某些典型结果，证实有效校正可达20分贝。但即使在这些特别恶劣的条件下，在探测缺陷时应用自动增益控制，也可以得到满意的结果。

从以上关于应用自动增益控制的讨论来看，可以认为，如果能选择适当的监视信号，并能全面地了解此法的缺点，则不论何时，实际上都能保证达到预定的最低缺陷探测标准。如果在设计时采取

适当的预防措施，就能决定檢驗工作是按照规范进行，或是完全不能进行檢驗。但从編写和执行规范的檢驗单位看来，显然此点应看作最为重要的因素。

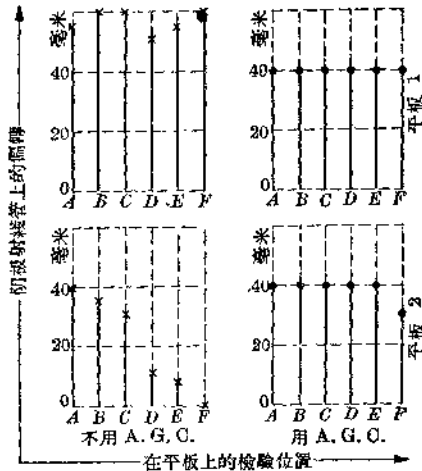


图9 在衰减情况差别很大的鋼材上的典型校正数据

五、自动超声的应用

为了說明在实际工作中产生的某些問題和經驗，可以引用两个关于自动超声的应用例子。其一是檢驗“新鑄好的”，有极粗糙鑄造表面的輕合金鑄錠。在这种情况下，以使用大直徑探头和液浸法为宜。

1. 檢驗輕合金鑄錠

在理想条件下，应将鑄錠装在槽中，使它能在豎直探头系統下轉动。但在目前情况下，从現有的生产檢驗条件来看，还不可能完全采用螺旋形扫查的方法。我們认为，如果进行两次相互成直角的扫查，就可以获得适当的探测結果。

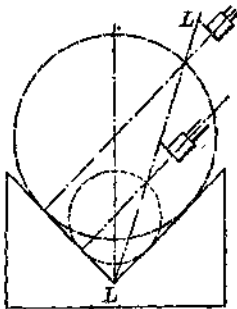


图10 用于檢驗鑄錠的90°的V型支架

为了解决这个問題，可以用图10所示的90°的V形架来支承直徑差别很大的各种鑄錠。从这个裝置的几何形状可以看出，将探头沿LL綫移动(LL綫的傾斜角的正切值为0.5)，同时使探头的中心綫与垂直方向成45°角，則很容易将波束軸綫調整，使之通过鑄錠的直徑。为此，我們曾經設計了一个实用的裝置，其中用一个校准螺絲来控制两个位置对称的支架和齒輪机构。同时，将两个探头安装在互成90°的位置上，而且能很快地調整它們的位置，以适合于任何直徑的鑄錠。如鑄錠直徑未知，則可将一个触針降下，并将探头从架上放下，直至一个微型开关闭合，开亮一只指示灯，至此，探头高度即已調整正确。然后将触針拉起，在鑄錠上进行檢驗。在直徑較大的鑄錠上，可将两个探头平行地移动以节约時間。但在較小鑄錠上，发现超声波束边缘部分的过度折射是有妨碍的，因此就采用一个探头从鑄錠的一端扫查至另一端，而用另一个探头来回扫。

因为所应决定的仅在于不使用自动增益控制，于是就选定了这样一个特殊的裝置(从而大大提高了鑄錠质量，这主要是因为車間主任可以立即了解鑄錠质量是否优良的緣故)。选用这种裝置的理由是，如表面情况很坏，超声波束就会受到极度歪曲，特别是当波束进入鑄錠时。假定在图11所示的简单例子里，当波束进入鑄錠时，虽然信号幅度不变，但指向性角度已改变，底面反射信号的幅度就会减弱；在采用自动增益后，接收器增益就会提高而校正这种情况。于是，在主要的指向性波束中，信号幅度会相应地增高，因此，从气孔等小缺陷上产生的反

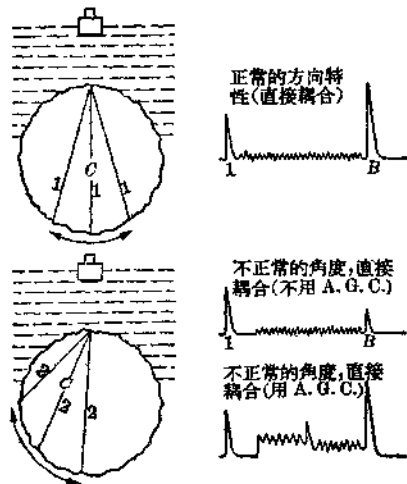


图11 鋁錠中变更指向性角度的影响

射波会被过于夸大。当时就是在这种情况下才决定不采用监视信号,以便在所研究的区域中(例如鑄錠的中心区域)能正确地表示信号强度的变化。但底面反射波的消失意味着声能不能达到鑄錠中心区,或声能已被粗糙的底面散射。采用直径相当大的探头和1.5兆赫频率,散射效应会大大减少。但为了使操作者知道有常规灵敏度的探头位置,故仍采用了系统故障警报器,以便在底面反射波信号消失较长时间后发出警号。这样就可以指出那些被怀疑为缺陷探测效率有问题的鑄錠。

2. 有缺口韧性钢板的检验

检查有缺口的韧性钢板内的夹层性缺陷,是自动超声应用中需要仔细研究并且采用折衷方案的第二个例子。在下述的具体例子里,需要将75毫米厚的钢板在制造厂中切割成形,然后运至一座原子能发电站,焊成一个巨型圆球。在这些钢板中如有夹层性缺陷,将使焊接发生困难。为了避免这种困难,就在切割成形之前用了自动超声技术进行检验。图12所示为用这种设备操作时的情况,图中可以看到用一个装有探头的可移动小推车来进行扫描。



图12 自动超声钢板检验器

在超声检测中,用普通的脉冲反射法来探测钢板的夹层性缺陷,从理论上讲是并不困难的。在这种情况下,可以使用单换能器探头或双换能器探头。但在2.5兆赫时,为了获得适用的最小探测距离,则宁可采用双换能器探头,尤其是用宽探头迅速扫描大面积钢板时。在容许直径达12毫米的夹杂物存在时,例如在上述范例中,应用宽探头的优点是小缺陷不致减小底面反射波的幅度。

通常情况下,这种厚钢板的表面一般都有紧贴着的氧化层。将钢板表面浸湿并在检验前擦刷,就

能很好地将松的氧化层和砂子除去。为了避免磨损和损坏探头,决定采用间隙扫描法并以水为耦合介质。将探头和钢板间的间隙距离调整至1/2毫米时,以60米/分的速度在表面上移动探头,底面反射幅度可保持非常稳定。此时以底面反射波幅度表示的最大灵敏度变化约为6分贝。在使用自动增益控制时,底面反射波幅度的变化实际上是可忽视的。

所有商品钢板通常都含有某种非金属夹杂物。软性非金属夹杂物,例如硫化锰,在辗压过程中会形成扁平的圆形或椭圆形缺陷,其短轴方向宽度可达10毫米。较硬的非金属夹杂物,如氧化铝,就不易变形,常以细小碎片形成的斑痕出现。通常都认为,当钢板中含有适当数量的这种夹杂物时,也能焊接得很好,在经过仔细考虑后,目前容许这样的缺陷存在,其超声反射波幅度小于直径为25毫米的平底孔反射波幅度。这种用于大型厚钢板的验收标准与航空工业中制订的轻合金板标准相比,可能显得要求很低。但要指出,这是根据英国压力容器工业协会的大量经验所制订的实用标准。如果对工业焊接构件中所用的商品质量等级的钢板,制订过于严格的标准或验收条件,则很易导致经济上的困难,而且,在检验工作上,这样来考虑问题也是不现实的。

也许有人会认为,用直径为12毫米的平底孔作为验收标准,会使仪器的设计者感到方便。在实验室的人工操作检验中,确实是这样的,但在大规模生产中,进行高速检验时就产生必须慎重处理的新问题。在大面积钢板上,如用直径为20毫米的探头进行100%扫描,则因所需时间过长,在通常情况下不可能这样做。因此需要使用一种宽的“油漆刷式”的探头。

在本文所述的装置中,所用的探头是双换能器间隙扫描式的,其有效波束宽度为 140×12.5 毫米。在整个宽度中,探头灵敏度的变化在6分贝以下。

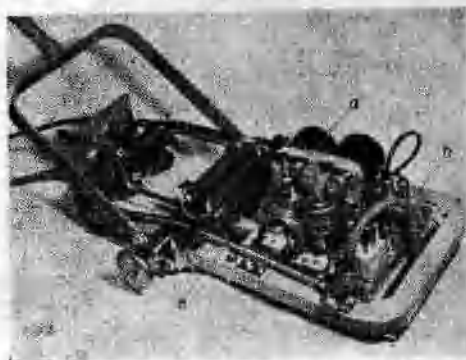


图13 用于检验钢板的可移动式探头装置

探头装在一辆如前所述的手推小车内(图13)。

3. 探头宽度的选择

这一节所考虑的主要是采用宽探头所引起的技术问题,现在,可以比较一下宽探头和较小的常用探头的优点和缺点。

首先可以考虑,自动报警器仅在缺陷面积大于用以调整仪器的平底孔面积时才会报警。假定所调节的标准相当于直径为12毫米、面积为113平方毫米的缺陷。如用直径为20毫米的探头,则沿钢板方向的 60×5 毫米的长形缺陷,就不会触发报警器。因为位于波束的有效范围内的缺陷面积仅为 20×5 毫米(约100毫米²),而触发点则调节在相当于缺陷面积为113平方毫米时。在另一方面,如使用宽探头沿横向扫查钢板,则在探头有效范围内的总缺陷面积为300平方毫米时,即可触发报警器。

当缺陷尺寸大于数个波长时,以这种宽探头最为适用。但探测小缺陷时,其主要缺点为信号“噪声”比较差。这种“噪声”通常都是由夹杂物和晶粒边界上的散射引起的,而且在很大区域中都会产生,并由于相长干扰,所产生的迭加散乱信号的幅度要比用小探头时大得多。



图14 伺服机械操作的大型机械扫查装置

4. 探测结果的表现方式

关于这种装置中的另一个问题是探测结果的表现方式。当以生产条件进行检验时,操作者至多只能从信号灯上得到一个概括的印象。由于采用了手推小车与牵引电线,及因记录方法的要求,应用伺服

机构操作的记录系统虽然确是最好的方法但不很实用。于是,决定采用在钢板上作记号的方法。

此种在钢板上作记号的系统是由带有弹簧的腊笔和自动送进装置构成的。在无缺陷时,它能画出一条连续的黄色记号,标明操作者在检验过程中所走的路径。在因存在夹层而触发信号警报电路时,有一个螺旋管装置会使腊笔沿50毫米长的弧线摆动,因此,对于小缺陷,所画出的闊幅记号较短;而对于较大的夹层,则所产生的闊幅记号的长度与缺陷在沿探头移动线上的长度成比例。

六. 結 論

从这种装置的使用效果来看,在三年中对于经过检验的钢板,在工作地点焊接时并不曾因有缺陷而引起困难。但在同一地点焊接其他未事先以这种方法检查的钢板时,则由于存在夹层性缺陷,需要进行修理,因而在很大程度上使工程延期和产生大量浪费。

在理想的超声钢板检验法中,应使用带有伺服机械操作记录器的全部机械化扫查装置。图14是装置在我们实验室中的一种典型设备,它可以根据需要,从20毫米/分的速度连续变化至60米/分,这个装置的特点是,所有动作都由装在地板上的一个3马力电动机通过链条驱动而完成。所有拖带的导线、水管和压缩空气管都装在电缆“提升”装置内,可允许它们有柔性的弯曲变形。

这些机械化扫查装置是专门为自动超声检验而设计的,其详细情况以后另行说明。但需要再次指出,在设计此设备时会仔细考虑了“失效转为安全”的特点,并采用单元结构原理,因而使它具有在应用时适应性很强的特点。设备中的纵向轨道和横向桥架的尺寸是可改变的,但不需改变其基本设计。还应指出,这种设备适用于“间隙扫查”和液浸式扫查,并能联接伺服机械控制的探头操纵器。

最后应理解的是,我们所讨论的问题,其复杂性在本文中不能全部涉及,故必须选择特定问题和例子来加以说明。

(陈毅年译自西德《Materialprüfung》1960年
第2卷第11期第421~428页,黄广霖校)