

77.7055
526
12

目 录

1、各种焊缝,尤其是涡轮机转子焊缝的无损探伤要点.....	(1)
2、超声波检验过程的自动记录和部分机械化及其在管子焊缝探伤中的应用.....	(9)
3、国际焊接学会(IIW)第V委员会关于使用渗透剂表面探伤法实践的建议.....	(21)
4、适合于着色渗透剂表面探伤法用的有机色料显示剂.....	(24)
5、渗透剂表面探伤法——渗透剂特性测试仪的结构及其应用.....	(28)
9、使用试验气体的检漏试验法.....	(32)
7、射线检验设施及技术.....	(43)
8、射线检验摄影像质计(IQI)的应用及其限度.....	(90)
9、国际焊接学会第V委员会推荐的射线检验摄影像质计(IQI)成影判读规则.....	(92)
10、焊接技术参考数据及图表:.....	(93)
(A) IIW焊缝射线检验参考图片.....	(93)
(B) AWS焊缝射线检验气孔验收标准.....	(106)

各种焊缝，尤其是涡轮机转子焊缝的无损探伤要点

通过抽查试件的各种破坏性试验，人们固然可以评定焊接接头的机械性能和某些冶金性质，但在实施破坏性试验的同时，还应有系统地掌握工件内存在的各种缺陷的性质。各种焊接缺陷往往会造成产品的不安全性。采用现代化的各种无损探伤法已有可能大大减少这种不安全性。

本文将指出几种最重要的无损探伤法应用的可能性及其特殊的限度，并特别以涡轮机转子焊缝的检验为例来说明这些问题。

一般的探伤条件

各种无损探伤法都有其各自的物理基本原理，而材料的缺陷在无损探伤试验中又是材料某一定的物理性质的宏观不稳定性形式表现出来的。因此要把它显示出来，就必须满足下列的基本条件：

1、探伤方法必须适应于待检缺陷的特征，也就是说，它必须与表达缺陷的不均质性的形式类别相配合。

2、待检的缺陷必须要能在使用的探伤方法试验下产生一定的最低程度的干扰信号或显示标记。

3、待检工件材料的组织结构（例如金相组织，表面粗糙度等）在使用的探伤方法试验下不得对尚可探测的最小缺陷产生干扰抵消或混淆不清的作用。

4、待检工件的外形结构必须适应于所使用的探伤方法，也就是说，它的可能有缺陷的各个部位都必须是所使用的探伤仪器能够接近的，以便探出存在于其中的危险缺陷。

探伤结果的可靠性就取决于上述这些基本条件的满足程度。即使这些条件能完全满足，存在的缺陷也确实能显示出来的话，还有一个问题是检验员主观上对于显示出来的缺陷应作出何种的评定，尤其是在内部缺陷探测方面，往往会感到相当的困难。另一方面不应忘记的是，即使是一个精确的缺陷评定，也不一定就能对这一缺陷的危害性作出决断。

几种探伤方法应用的可能性和限度

控制焊接接头质量常用的最重要探伤方法[1,2]有下列几种：

用于表面缺陷的探伤有：肉眼检视，磁粉探伤，渗透剂探伤法。

用于表面和内部缺陷探伤有：射线透视（摄影）及超声波脉冲回波检验法。

仔细的肉眼检视往往在许多情况下可以直接发现出许多种表面缺陷，但可惜人们往往追求现代化的设备而把这一便捷的方法忽视了。简单的光学辅助仪器，例如放大镜、反射镜

等对于肉眼检视是不可缺少的工具。检查内腔工件的焊根，可以采用“内部检视镜筒”，它是一种透镜组合系统。对难于检视部位的情况还有一种玻璃纤维光学系统可供采用，详情可参见文献〔3〕。

磁粉探伤法适用于铁磁材料的检验，它扩大了缺陷的识辨范围，诸如熔合线缺陷、裂纹等极窄的间隙缺陷都能探测出来。只要表面作了精细磨光，也能把只有几毫米长和十分之几毫米深的极细裂纹显示出来，但抛磨的纹路不得与裂纹平行。在磁粉探伤中，如工件有凸出的稜边或下陷的凹沟都可能发生错误显示（被误认为是缺陷），这种现象也同样会出现在那些未经刨平的焊缝加强高（凸出在母材表面上）的情况下。这种错误显示还可能因钢种不同在焊缝过渡区产生不利组织使导磁率显著减小而更加显著。图1a即示出在一个磨光最细致的焊缝边缘上出现的错误显示。由图1b的金相照片上可以看出，在这个部位上实际上并无任何裂纹之类的缺陷。把原工件经过适当的热处理后，再进行磁粉探伤时就不再出现上述的错误显示。

对于不可磁化的材料，磁粉探伤法不能使用，则可采用灵敏度略小的着色渗透剂表面缺陷探伤法。在这一探伤法中，最重要的是要求表面缺陷缝隙中不得有任何异物（例如夹渣、油污等）堵塞。把着色渗透剂布覆在工件表面上经过一定的渗透时间后，如果在工件表面上有色彩的痕迹显示出来，人们就可以有把握地断定有真实的缺陷存在。

射线摄影探伤法比普通超声波探伤法的优越之处在于前者有底片记录可供存档查阅，受检工件的缺陷在底片上清楚地显示出来。缺陷识别度在个别情况下取决于许多因素，例如工件的壁厚、缺陷的形式和方位、底片材



图 1、磁粉探伤在焊缝边缘上的错误显示

- a) 磁粉显示图
- b) 焊缝边缘区金相照片。
- 上——母材
- R——被磁粉显示的边缘区
- S——焊缝金属。

料、底片至射线焦点距离，以及评定底片时的一系列生理和心理上的因素。

在实践中，人们试图在给定的条件下以可负担的经济消耗，尽可能获致富有说明力的射线检验图相。作为达到这种成相质量的图相的标尺，人们使用了各种形式的“相质计”①在进行射线摄影前，放置在与底片不相对的工件反面上。在检验的验收条件中人们不但规定了可允许的缺陷大小，而且也规定了要求的底片成相质量。然而底片成相质量只说明摄影的质量，并不能说明缺陷的识辨程度；而缺陷的识辨程度本身固然与成相质量有关，但也还取决于缺陷的形式。

超声波探伤法与射线探伤比较，前者的主要缺点在于它的检验结果很大程度上取决于检验员的技术。如果探伤试验与评定由不同的人员分别进行，就往往得不到正确的结论。因此如果能把超声波探伤的整个过程使用特殊仪器记录下来，那将是非常有价值的。目前已有自动记录的超声波探伤仪供应于市。②

缺陷评定是一个很大的经验问题。但现在用来评定缺陷大小的精确方法已愈来愈多〔4〕。

超声波探伤法虽有上述的缺点，但也有不少优点：它成本低廉、操作便捷（与射线检验比较）。尤其是对于危害性较大的成面缺陷，例如裂纹和熔合线缺陷等，超声波的探测比射线检验法具有更大的可靠性。至于对夹渣的探测，两种方法大致上具有同等的可靠性，但射线透视在气孔的探测方面则比较优越〔5〕。

有时候人们往往需要在同一待测工件上使用多种探伤法来进行探测，因为各种不同的试验方法有互相取长补短的效果。最常采用的方式是，把产品经过肉眼检查后，再用超声波探伤法进行100%的复检，如果超声波发现有不太明确的缺陷显示，然后再重点地使用射线摄影检验，或以磁粉探伤或着色渗透剂探伤法补充进行检验。

涡轮机转子焊缝探伤实例

各种涡轮机（汽轮机、涡轮空气压缩机、涡轮发电机等）的组合式转子的环焊缝深度有深达500毫米的，需要经过仔细探伤检验，因为这些部件其中的一个如果一旦发生破断就会产生严重的事故。这种焊缝的制造通常分两个步骤进行：第一步，用氩弧焊接法打底（焊合焊根），第二步，用埋弧焊进行填充焊接。打底焊道完成后需要进行焊根探伤检验，以便发现是否有未焊透、裂纹和气孔等缺陷存在。图2列出焊根检验所能使用的各种检验方法。氩弧焊打底后经过肉眼仔细检查，即举行磁粉探伤。如果在设计结构上许可的话，可在焊缝邻近区钻三个孔径（图2中的B），直达主

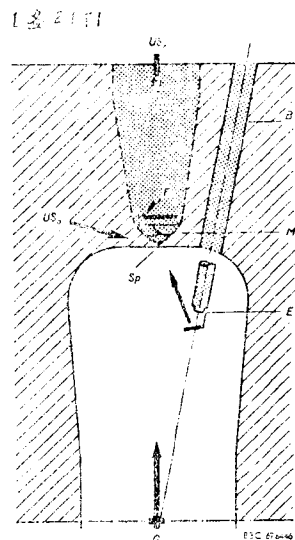


图2、焊根质量控制

- SP = 遗留缝隙
- B = 放置γ射线源及内测镜用的钻孔孔径
- E = 内测镜
- G = γ射线源
- F = X射线底片
- M = 磁粉探伤
- USr = 径向超声波探伤
- USa = 轴向超声波探伤，（可取得良好结果）

① 参见本册“射线检验设施及技术”一文的第六章第4节——译注。

② 参见本册“超声波检验过程的自动记录和部分机械化及其在管子焊缝探伤中的应用”一文——译注

轴的空位上，从这些孔径中可把 γ 放射物质送到主轴的轴心位置上去，进行射线摄影检验。这些孔径还有另一个用途，就从它们中伸进一个内测镜 (Endoskop) 管，来观察焊根底部的成形情况，检查是否焊透，是否有可见的其他缺陷存在。图 3 示出一个模拟焊件，用各种检验方法所获得的结果对比。

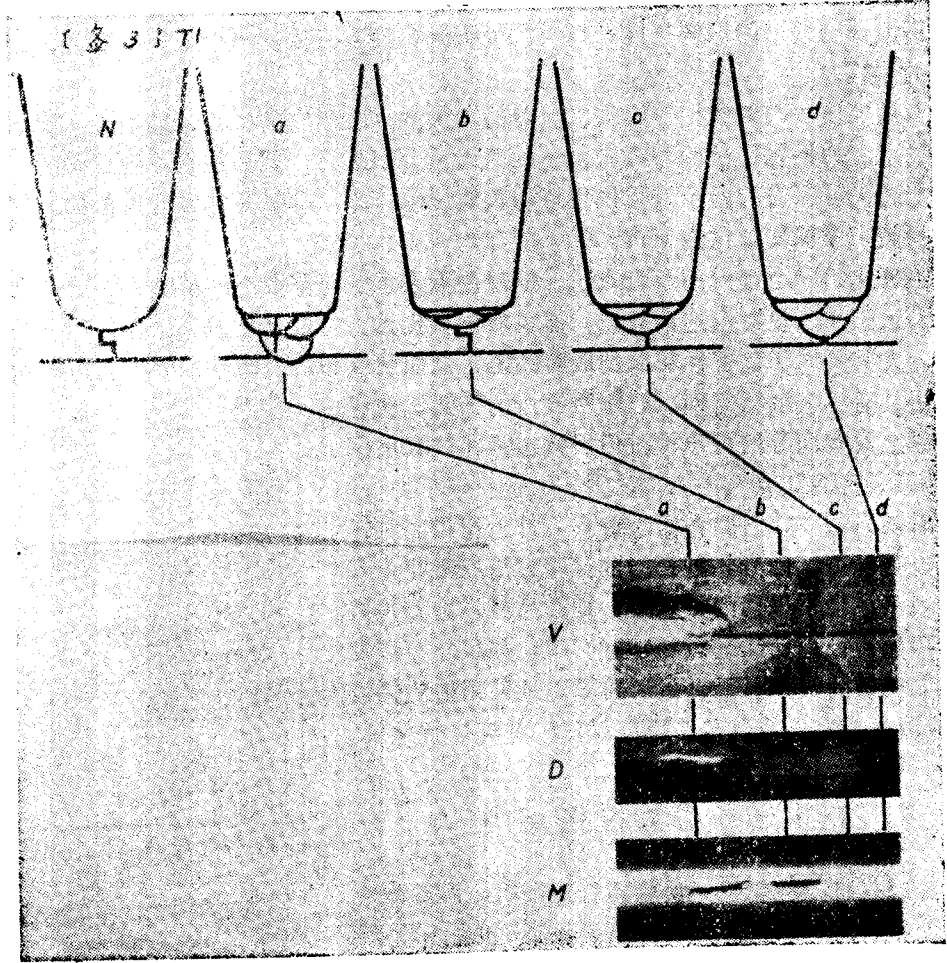


图 3、焊根用肉眼检查，射线检验、磁粉探伤的结果对比

N = 焊前坡口形式， V = 焊根底面内测镜观察
D = 射线检验、 M = 磁粉探伤

焊根缺陷形式图号	说 明	遗留缝隙高度(毫米)	各种检验法的显示结果		
			V	D	M
a	已焊透，但有裂纹	0	未探出	探出	探出
b	套节处完全未焊透	4	探出	探出	探出
c	套节处未焊透	2	探出	探出	未探出
d	套节处未焊透	0.5	探出	未探出	未探出

试验结果表明，在埋弧焊之前，焊根的探伤不能使用超声波方法进行，因为它在这种条件下得出有说明力的结果。如果氩弧焊接质量很高，能保证不产生焊根缺陷，那么也可以酌情省略掉焊根的探伤检验，并在埋弧焊填充整个焊缝坡口之后，进行超声波探伤检验。

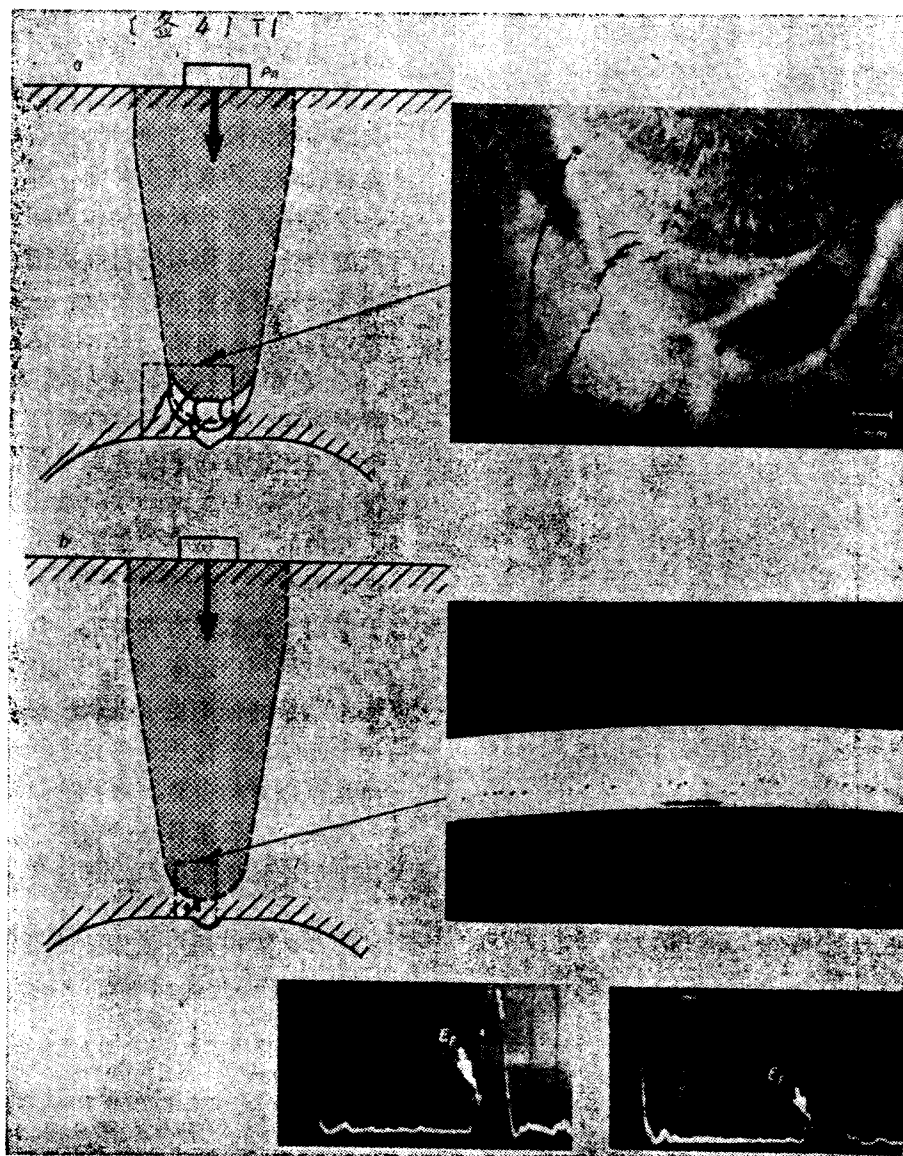


图4、不同的缺陷在超声波检验中出现相似的显示

- a) 焊根近缝区小裂纹
- b) 焊根中的气孔炼
- c) 以上两种缺陷的典型超声波示波图形 (EF = 缺陷回波)

对于焊根区的探伤检验使用垂直探头在焊缝表面上进行径向超声波探伤是不够的,例如图4a所示的那种焊根近缝区裂纹就无法用这种探伤方式与图4b所示的那种气孔夹杂区别。探头的最有利探测方向是取与焊缝平面、亦即与主轴轴心线相垂直的方向,然而这种探测方向是很少可能实现的。所以人们通常采用斜角探头,以便接近于达到上述的有利探测方向。在低压涡轮机大型转子的情况下,为了便于探伤检验,在结构设计上还可预先设计检验平面,

使事后进行超声波检验焊根区时,可以把探头沿着这个平面探测,就能取得有利的探测角度和方向。如果在焊根两侧预先制成两道特殊的反射面,那么就可以对焊根范围区进行精确的轴向探测方向的超声波检验,这两道反射面将把径向入射的超声波反射到直角方向去,这种探伤法称为“超声波转向法”(UmlenKmethode)〔6〕。在超声波倾斜入射情况下,视焊透的情况而定,焊根本身往往会产生一个至两个回波;这些回波往往与焊根部分可能存在的缺陷所产生的缺陷回波相混淆,给缺陷回波的识辨和评定带来很大的困难,在这种情况下,如果附带地实行肉眼检视,对于说明问题是很有裨益的。如果把超声波检验过程作出记录,如图5试验所示,对于检验结果的评定更可获得良好的效果,这种记录不但示出一个一目了然的总图相,而且可以存档备查。在检验过程中,可用一机械化装置来移动检验探头,同时让示波图形连续地投射在摄影底片上〔7,8〕。

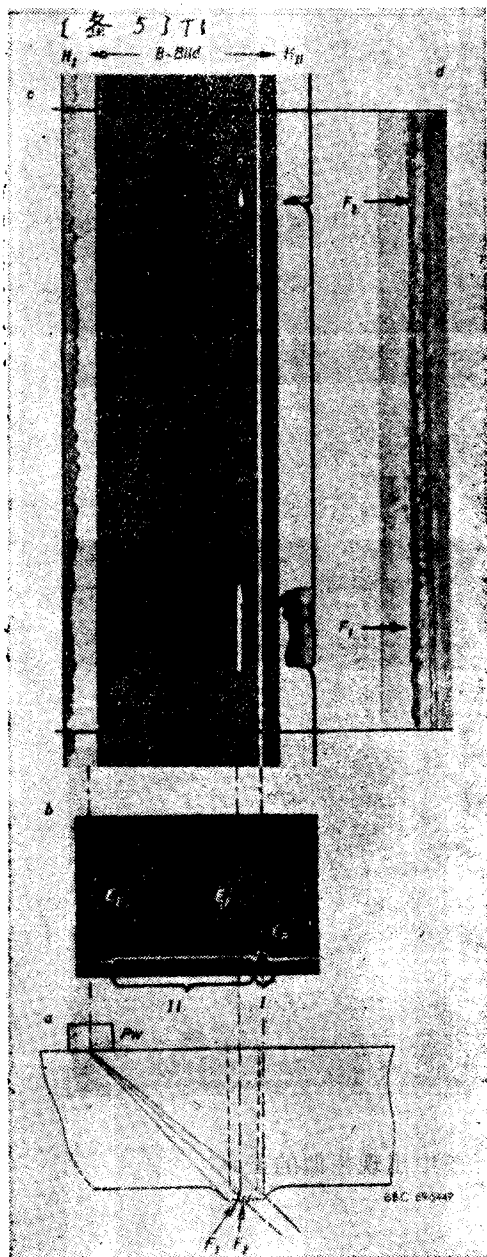
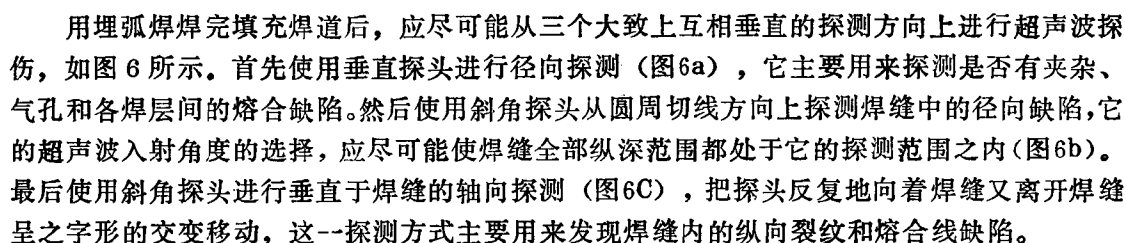


图5、焊根超声波检验的摄影记录

- a) 具有两个人工缺陷(铣口)的焊接试件截面示意图。
 - b) 正常超声波示波图(所谓A型显示图)示出两个缺陷中的一个缺陷的位置。
 - c) 记录底片,它连续地把所有回波的位置和高度显示出来(即所谓B型显示图),包括工件背面反射波(I)和缺陷反射波(II)的高度。
 - d) 焊根实物照片。
- P_w = 斜角探头, F_1 = 人工缺陷, 2,3毫米深,
 F_2 = 人工缺陷, 1,3毫米深, E_1 = 初始脉冲;
 EF = 缺陷回波, ER = 工件背面回波,
 I = 监视背面回波的控制闸,
 II = 监视缺陷回波的控制闸
 $H I$ = 背面回波图, $H II$ = 缺陷回波图

- 垂直探头 (P_n)，径向入射 (Z = 死区)
- 斜角探头 (P_w)，切线入射，
- 斜角探头 (P_w)，垂直于焊缝的轴向入射



结 束 语

• 7 •

人们通常都认为,在大多数情况下,大型的和数目较多的缺陷总会比小型的和个别的缺陷危险得多;人们也同样认为,垂直于主受力方向的成面缺陷的危害作用会比平行于主受力方向的成面缺陷或圆形缺陷的危害作用为大。根据机器部件的受载条件和破坏的可能性,人们判定这一部件或那一部件允许有多一些或少一些缺陷存在。然而,现在的问题是缺陷的发现和识别,亦即以多大的可靠程度来判定缺陷的大小,不但取决于所选用的检验方法,而且也取决于检验密度、时间和人员。在这里又产生了下列的几个问题:

即使实行了彻底的检验,也不能保证完全没有缺陷。

对于无缺陷的要求愈高,检验成本就会大大增加。

本文所指出的合理检验限度具有实际的经济意义,这是BBC公司多年制造焊接转子工作中积累的经验,可保证足够的安全。

参 考 文 献

- [1] E.A.W. Mueller, Handbuch der Zerstörungsfreien Materialprüfung, Oldenbourg-verlag, Muenchen, 1968.
- [2] J. and H. Krautkraemer, Werkstoffprüfung mit Ultraschall, Springer-Verlag, Berlin/New York 1966
- [3] 内腔检验用光学仪器——Technische Rundschau Bd. 36(1969)H.2, S.9~13.
- [4] 超声波探伤回波识别缺陷大小的方法
——Das Echo, Krautkraemer Mitteilungen Bd.18,(1967), H.19, S. 195~217
- [5] 超声波及X射线探伤经验介绍——Stahl u Eisen, Bd.83(1963), H.5, S. 298~304
- [6] 关于焊缝,尤其是转子焊缝的无损探伤——Brown Boveri Mitteilungen Bd 48(1961), H.8/9, S. 475~484.
- [7] 超声波脉冲—运行时间探伤法中的缺陷显示——Archiv fuer das Eisenhuettenwesen, Bd.27(1956), H.7 S. 579~594
- [8] 重型转子锻件的超声波探伤——Technica, Bd.20 (1968), H.17, S.1483~1488
- [译自 BBC Druckschrift —— Elektroschweissung Nr. DGJA 30039D, 1973]

超声波检验过程的自动记录和部分机械化及其在管子 焊缝探伤中的应用

1、 前 言

与X射线检验相反，超声波探伤不能直接得出缺陷的图形，而只能在萤光屏上显示一个指示。随着探头的移动，超声波探索着工件的内部情况。要从萤光屏上的示波指示去设想缺陷的类别和形状即使是很有经验的检验人员在某些个别情况下也会有一定的困难。

因此人们认为超声波探伤如果不能留下一个可供事后仔细评定用的记录是特别不便的。迄今为止人们已作了许多努力使超声波探伤能获得记录。本文将报导两种记录方法，可以把超声波探出的缺陷指示和其他数据记录在记录纸带上，以便验收人员事后进行评定。

2、超声波指示的记录

2—1·四光点示波记录仪

图1a) 示一用于管子焊缝探伤的微型超声波斜角探头，它的底部圆弧半径等于待测管子的外圆半径，这个探头装在一个用有机玻璃制成的保持架内，如图1b) 所示。来自受检工件并经超声波测试仪放大的脉冲信号将被输送到一个记录监视仪中去。监视仪就向记录器产生一个成比例的直流电压。如果人们采用多线记录器，例如“四光点示波记录仪”，那么还可以同时把其他的数据一起记录下来，见图2。

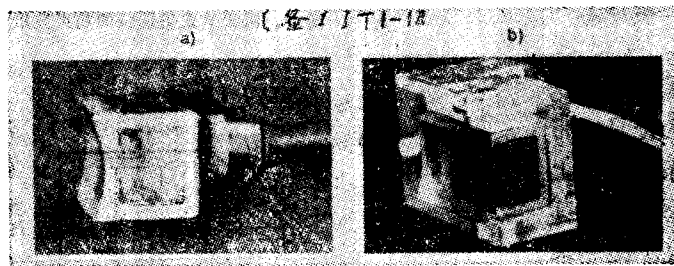


图1。管子环焊缝超声波探伤用探头。

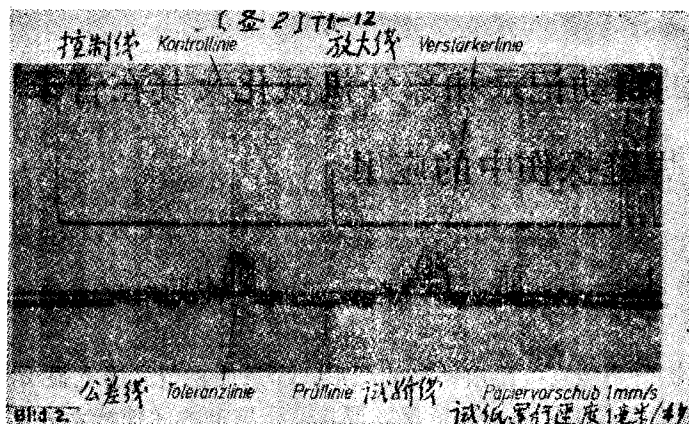


图 2。四光点记录仪的超声波记录纸带。

线” (Kontrollinie) 的记录。当探头安放在工件上时，这条控制线就会呈细线条记录下来。如果不发生接触，它就形成宽线条。“放大线” (Verstärkerlinie) 偏离其静止位置的偏移度是超声波测试仪调定的灵敏度的一个标尺，同时它还兼作“测试时间线”之用，因为它是在测试开始时被开启并在测试完毕时被关闭的。

在图 2 所示记录带上总共被记录下来的项目有：

- 1、测试时间
- 2、耦合控制
- 3、调定的放大倍数
- 4、不能允许的缺陷。

至于缺陷的类型和它所处的位置在这条记录带上并不能表示出来。

2·2·四线笔式记录仪

这种记录仪的记录纸带示于图 3，在这条记录带上“试验线”和“公差线”都是很细的线条。在“指示灵敏度”提高的情况下还可以把“测试时间线”和“放大线”记录下来。

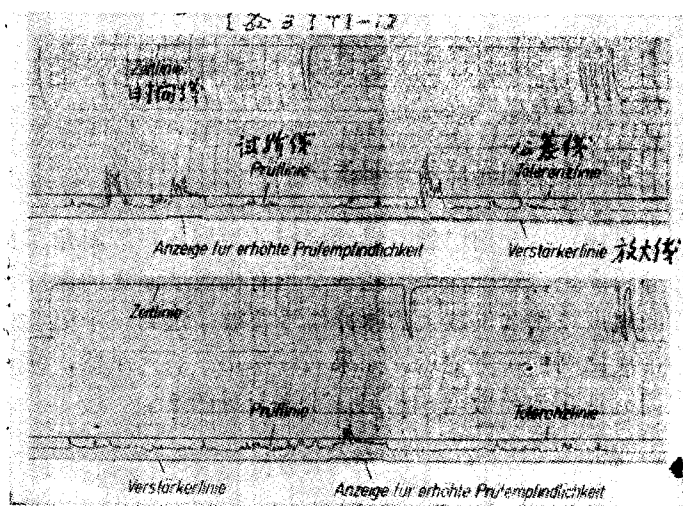


图 3。四线笔式记录仪的超声波纸带。

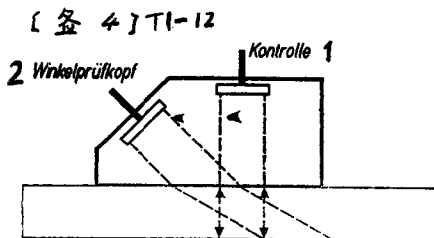


图 4。耦合控制。〔1〕

如图 4 所示,上述的不太理想的机械接触耦合控制器可以用装在探头内的第二个振子来代替。这个发射振子(图 4 中的 1)处于垂直位置,作为耦合控制之用,因为它有一个较大的先行距离,所以它的回波是在来自焊缝的反射波之后出现的。在较新式的超声波测试仪中还有一种所谓“距离平衡”装置(Entfernungs-ausgleich)。利用这种装置人们可以把来自较大距离的回波提高它的幅度,从而使记录下来的缺陷回波高度不取决于缺陷至探头的距离。

验收人员凭借记录带就可以知道已有多少条焊缝经过了检验,那些焊缝含有不能允许的缺陷。

生产中的检验实践表明,一个优秀的检验人员的注意力经过两小时的连续检验工作之后就会衰退下来,他就可能疏忽而遗漏几个缺陷得不到发现。这种“人的效能极限”是不应忽视的。因此,检验人员应在两小时的工作后换班一次,他在换班期间可以从事其他的辅助工作。超声波探伤小组按照这个原则宜由两个检验人员组成,使他们有替换轮休的可能。

3、超声波探伤的机械化

3 · 1 · 检验设备

铺设管道的焊缝(环缝)超声波探伤机械化会比管子制造中的纵焊缝超声波检验机械化困难得多,因为在管子的制造过程中人们可以把直管放置在固定的超声波检验装置之下进行检验。然而在管道的铺设过程中(例如锅炉管道)就很难这样做;大多数的情况是在大型结构件上安装许多弯曲的管子,管子上的许多环形焊缝需要检验。这就要求超声波探伤仪具有轻便灵活机动的特点来适应这种情况。虽然目前管子制造厂的检验流程已经自动化了,而在锅炉制造厂的管道安装上还不能达到这种自动化检验的程度。尽管如此,把检验工序进行部分自动化还是可行的;虽然在这种情况下仍需用手工来搬运检验仪和安装探头,但是至少有个别检验过程本身是可以机械化的。

图 5 示出把超声波探头运转进行自动化的第一个装置。这个装置就是利用一般现成的管子环缝焊接转台作为运转机构,把原有的焊接机头(图 5 中的 2)卸下,就在它的位置上安

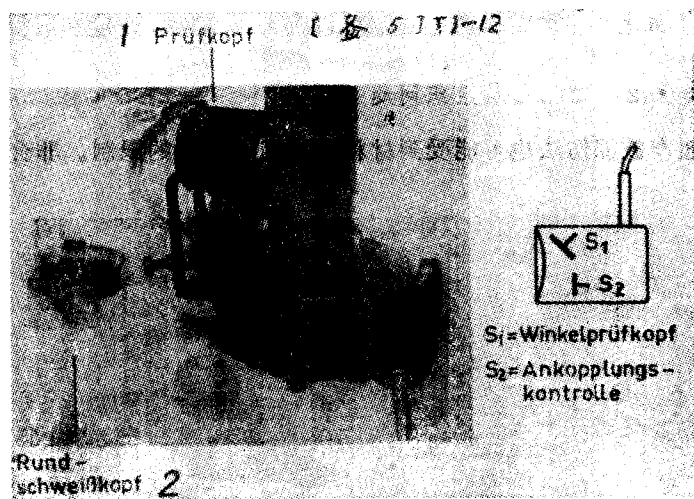


图 5. 管子环焊缝的机械化超声波探伤仪。

装着超声波探头（图5中的1）。这个探头用泡沫橡皮裹着装在夹套内。探头与管子的接触面有一个圆弧，其半径与待试管子外圆的半径相等，恰好与管子的外圆面吻合。探头在管子圆周上的旋转运动由一个同步马达通过可弯轴、万向接头和涡轮机构来驱动。驱动机构是分为两瓣的，可以套夹在管子上。它的安装所需时间少于一分钟。

如果把上述的自动化超声波探伤仪与记录器联合使用，那么检验的操作就可以由一个稍加训练的人员来执行。图5所示的探头内装有两个振子， S_1 为斜角探头， S_2 为第二个振子，作为耦合控制之用。

3·2 超声波探伤的限度

3·2·1·空间位置问题

超声波探伤应用中受到的第一个限制是它的体积尺寸。在现今的锅炉设备中管子之间的间距往往很小，致使超声波探伤法在锅炉安装工程中不是经常可用的。然而超声波探伤的整个装置还可以大大缩小，只要探头能够通过管子的间距，超声波探伤法也就可以应用；实际上只要旋转机头焊矩能焊出的管子焊缝空间，超声波探头也就都能通过，所以超声波探头所受到的空间位置的限制完全与旋转机头焊矩所受到的空间位置的限制相同。目前还有人正在研制管子环缝内壁超声波探伤装置，它的探头接触面将做成凸圆面。当然这种探头只能使用于直管的情况，需要能从管端伸入管内。西德核能反应堆研究所正在从事这项遥控检验装置的研究。对于反应堆的放射污染部分的管道焊缝的检验，这种装置是迫切需要的。上述的机械化探伤装置使我们在这个方面也前进了一步。对于大量相同尺寸的焊缝检验采用机械化或部分自动化的超声波探伤也必定可以大大提高检验速度和取得较大的检验可靠性。

3·2·2 材料组织问题

超声波探伤法也可能受到材料内部组织结构的限制。非合金钢和低合金钢，如图6a所示

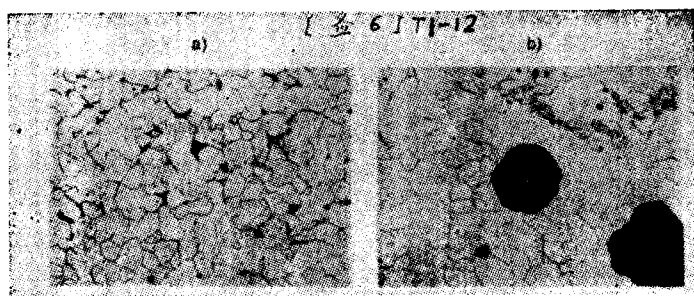


图6. 超声波透射良好的铁基材料组织（500:1 复制时缩小0.4倍）

a) 铁素体-珠光体钢
b) 铁素体球墨铸铁

的铁素体-珠光体钢，都是超声波透射良好的材料。非合金球墨铸铁（图6b）也还可以用超声波来检查其缩孔和夹渣物。但到层状石墨的灰铸铁超声波的透射就变坏了。根据Krautkraemer〔2〕，最低抗拉强度为20公斤/毫米²的灰铸铁超声波尚可勉强透射；具有粗大层状石墨的灰铸铁就完全

无法用超声波来检验了。我们对一种组织很粗大的轧制铸铁（Walzguss⁰）〔（图7¹）所作的试验也证实了这个极限〕在微观金相片上用肉眼可以观察得出来的几毫米长的层状

石墨，即使用较低的频率（例如0.5MHZ）的超声波来透射，也会使超声波分散到在最小板厚上也不能透射的程度。

图8示出在合金球墨铸铁中和钢中超声波回波高度的衰减对比。合金含量最高的球墨铸铁完全不能受到超声波的透射，人们根本不能从它的背面获得反射的回波。严格来说，这种情况并不属于本文的话题，但是把它例举出来却有助于对图9的理解。

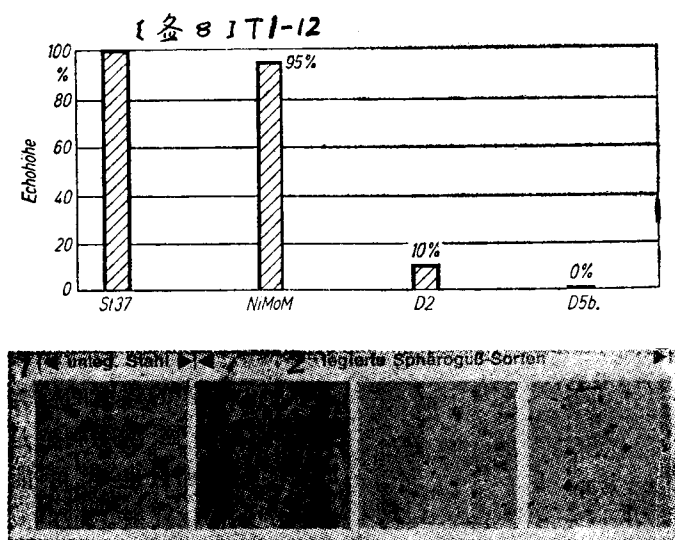


图8. 合金球墨铸铁和钢对超声波吸收的对比
1—非合金钢、2—合金球墨铸铁

来的。然而焊缝的铸造组织却不能受到超声波的透射，正如同在合金球墨铸铁的情况下一样。奥氏体焊缝金属会使来自管壁的入射超声波在萤光屏上显出一个宽带反射，一般称为“草状反射”（Gras）。焊缝金属中如有缺陷在一般的超声波频率下就无法检查出来。

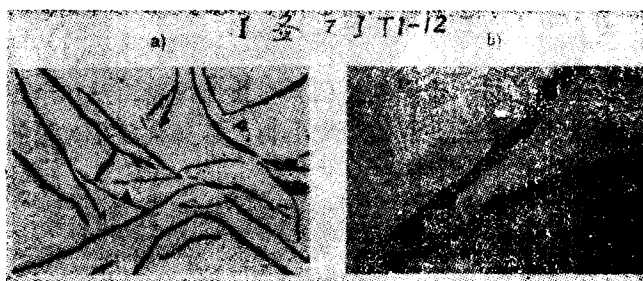


图7. 轧制铸铁的粗大组织，超声波不能透射。
a) 100:1, b) 500:1 (复制时缩小约0.4倍)

它例举出来却有助于对图9的理解。如果人们焊接一条X8CrNiMoVNb 1613 奥氏体钢管，那么未经调质处理的焊缝是不能用超声波来检验的。经过调质处理的管子材料的奥氏体组织本来是很好用超声波来检验的，如果在靠近焊缝的管子母材上有一条较小的横裂纹也是完全可以检查得出

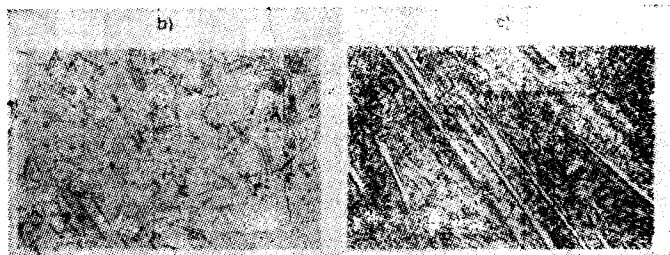


图9. 奥氏体钢管的焊缝，超声波不能透射。（缩小0.4倍）
a) 粗大焊缝组织（2:1）
b) 管子母材组织，经调质处理，超声波透射良好（300:1）
c) 焊缝金属组织，超声波不能透射

3 · 2 · 3 · 在闪光焊缝上的限制

超声波应用的另一个限制是闪光对接焊缝，图10示出几个对接管子闪光焊接头。在管子内部的接头上有轻度凸起的焊缝毛刺，它具有多孔疏松的组织。管外焊缝的毛刺飞边则是质地坚实的，如图10f)所示，

它会对超声波产生反射，造成干扰回波，往往被人误认为缺陷回波。这使训练有素的检验人员也遇到很大的困难。如果把外部毛刺除去，则可以进行顺利的超声波检验。至于管内的疏松组织焊缝毛刺在使用70°斜角探头的情况下可以不发生干扰反射。

从数百个试验性焊缝的检验经验表明，管子对接闪光焊接头的超声波检验可以作到既不遗漏一个缺陷，也不使健全焊缝产生错误反射的程度。然而，这并不意味着这种检验方式就可以应用于其他类型闪光焊焊机所生产的焊缝的检验。如果焊缝内面的毛刺也是质地坚实的，那么也有可能从这里产生干扰反射。超声波检验迄今为止还只在St 35.8 和 15Mn3 两种钢管的闪光焊接

头检验上使用过。如果使用于其他材料，尤其当焊缝区有粗大组织形成时，是否会遇到困难，尚不得知。然而有些作者已指出了某些困难的存在〔3〕。

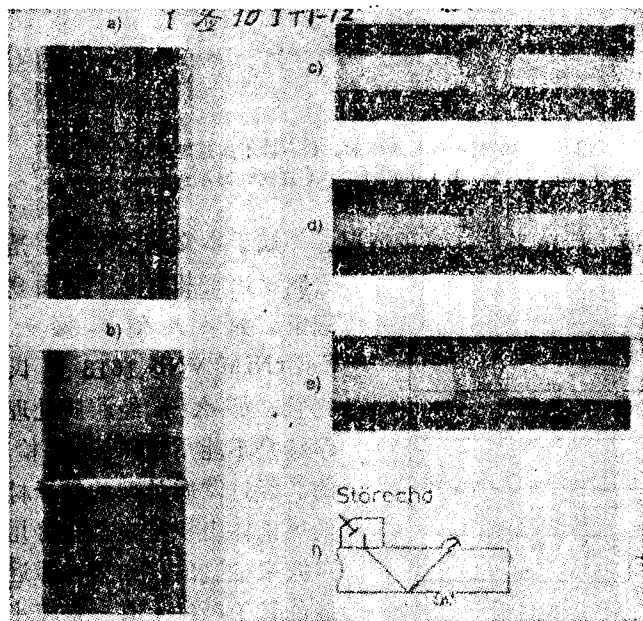


图10. 闪光对接焊缝的超声波检验

- a) 管内焊缝外观
- b) 管外焊缝外观
- c) 无缺陷剖面，未经加工
- d) 有咬边缺陷的剖面
- e) 除去外周毛刺的剖面
- f) 干扰回波的形成。

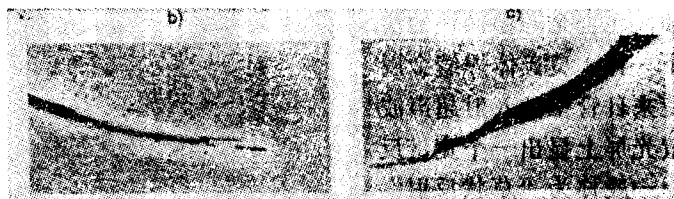
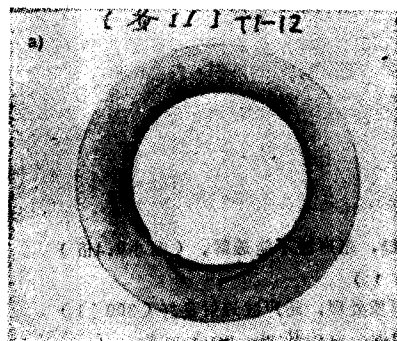


图11. 管子内部缺陷

- a) 1 : 1, b) 10 : 1
- c) 10 : 1 (复制时缩小0.4倍)

3 · 2 · 4 几种难以识别的缺陷

管子超声波检验还有一个限制是如图11所示管子内部缺陷的情况。这种缺陷出现在一面而且很浅。如果这种缺陷同时存在多条就会使检验遇到困难。它们往往被误认为是焊缝的熔合缺陷。

另一个困难例子是低合金锅炉结构钢管焊缝上的横向微裂纹很不容易用超声波探测出来。在图12中所示的由403毫米外径、79毫米壁厚的大管子制成的联箱环焊缝上出现了许多横裂纹，它们的级数从很粗大至很微细都有（见图12下方照片），微细裂纹甚至用肉眼不能察见、那些粗大的裂纹是在焊后经过热处理之后才形成的。在热处理前用超声波探伤只发现很微小的裂纹，可是在热处理之后它们就发展成为大面积的粗大裂纹了。还应指出的，即使是粗大的这类裂纹在X光检验下有时也很难察觉。至于那些很难发现的微细裂纹的形成原因可作如下的解释：

大家知道，弧坑是很容易产生裂纹的，如图13所示。弧坑裂纹往往会深入到母材中去。即使把焊缝金属磨平，弧坑裂纹还会存在。有人错误的认为，这种裂纹可以被下一道覆盖焊道所熔合。但实际上并不能如此，当下一道焊接熔池移近这个星状裂纹时，它会部分地向母材深入发展，还可能在熔池前面发展。这就使超声波探伤受到了另一种限制，因为这个残留的裂纹常常是很微细的，很难用超声波察觉。

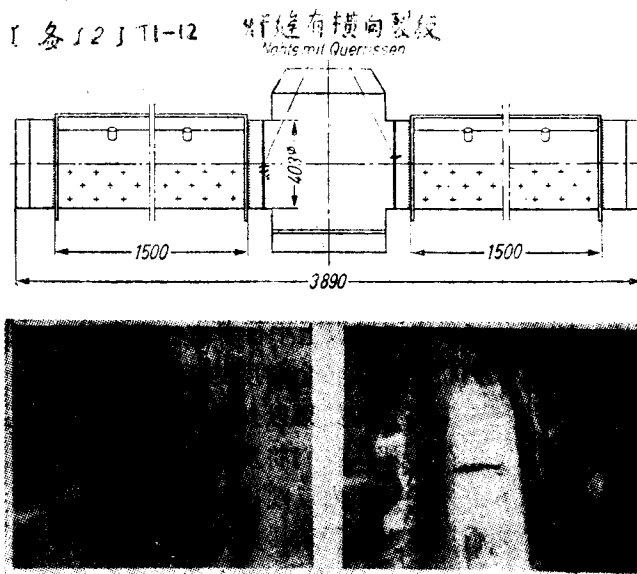


图12. 环焊缝上的横向裂纹管子尺寸403×79毫米

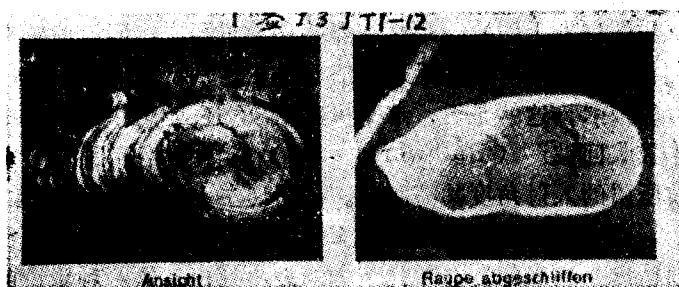


图13. 焊缝打磨前和打磨后的弧坑裂纹
(2.5:1, 复制时约缩小0.4倍)

4、外径403毫米联箱管超声波最佳检验规范的选定

为了测出第3·2·4节所述联箱管裂纹，我们曾作了大量的试验。我们试用过35, 45, 60, 70和80度的斜角小型探头。使用80°的探头就开始产生强烈的干扰回波，它是由于焊缝表面打磨不可避免的波纹表面产生的表面波所形成的。这种表面波如果用沾油的手指在探头前方按在管壁上就可以感觉得出来（图14左）。根据Kraut - kraemer[2]，使用70°的斜角探头就会开始在纵长方向上因表面波而产生干扰回波（图14右）。如果按图14左所示采用70°的探头来检验横向裂纹则不再发生干扰回波。因此在这种情况下就只有选用斜角为35°~70°之间的探头了。

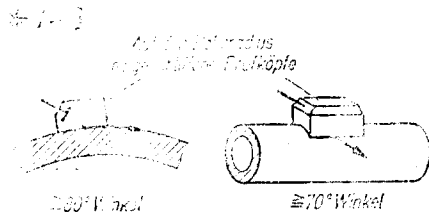


图14. 表面波形成的干扰回波。

超声波探伤的原则，一方面要使超声波发射尽可能垂直于横向裂纹，俾能获得尽可能大的反射，但另一方面大角度超声波的透射深度又是有限的。根据这一原则我们试用了多种斜角探头来检验这个大厚度工件，并通过下列措施选出最有利的斜角探头。

按图15所示，在一块厚钢板上平行于它的表面钻孔（ $\phi 2$ 毫米），并用不同斜角的探头对它们进行测试，我们将发现，各个角度的探头有不同长度的超声波路径。如果以入射点为中心在一圆圈内钻孔，那么我们将发现每一个探头都约在50毫米的距离内反映出它们各自的试验孔。如图16左上图所示，如果把探头以最佳入射点为中心在纵长方向上移动，（所谓“最佳入射点”就是探头的主波发射点并能碰上其试验孔的超声波入射点）我们会发现反映在萤光屏上的缺陷回波也会上、下、左、右移动。如果我们把主波的回波高度调到萤光屏的整个高度（见图16右上图），那么在探头移动过程中，回波的幅度就会迅速下降。较小的回波幅度往往很难与所谓“草状反射”的底波相区别。因此我们乃能确定超声波发现缺陷的最佳识别能力的极限，这就是说，这个极限恰好还能反映主波的半回波高度。在下文中我们称它为“半吸收回波”（Halbwertstrahl）或称“半值回波”，（见图16右下图）。这一半值回波所属的入射角度甚易测定。在图16左上图中的距离a和c首先是用机械法测量的（测量法A）。后来我们又根据测量法B从萤光屏上测出超声波路径长度e和f，证实这两种测量法得出的精度是相同的。在图16下方的表中列出了这两种测量的结果。由此可见，距离a会随着入射角度的增大而增大。距离a就是为了从主波直至达到半值波可以把探头在工件表面上移动的极限距离。如果把a距离的各值所属的“半值张角”（Halbwerts - Oeffnungswinkel）（即 $\delta_r = \alpha - \alpha_1$ ）计算出来，则除了35°的入射角所属的

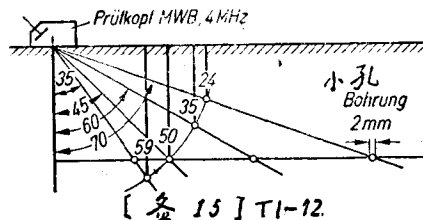


图15 在平板上钻孔进行超声波幅度——半吸收层的测定

回波高度调到萤光屏的整个高度（见图16右上图），那么在探头移动过程中，回波的幅度就会迅速下降。较小的回波幅度往往很难与所谓“草状反射”的底波相区别。因此我们乃能确定超声波发现缺陷的最佳识别能力的极限，这就是说，这个极限恰好还能反映主波的半回波高度。在下文中我们称它为“半吸收回波”（Halbwertstrahl）或称“半值回波”，（见图16右下图）。这一半值回波所属的入射角度甚易测定。在图16左上图中的距离a和c首先是用机械法测量的（测量法A）。后来我们又根据测量法B从萤光屏上测出超声波路径长度e和f，证实这两种测量法得出的精度是相同的。在图16下方的表中列出了这两种测量的结果。由此可见，距离a会随着入射角度的增大而增大。距离a就是为了从主波直至达到半值波可以把探头在工件表面上移动的极限距离。如果把a距离的各值所属的“半值张角”（Halbwerts - Oeffnungswinkel）（即 $\delta_r = \alpha - \alpha_1$ ）计算出来，则除了35°的入射角所属的