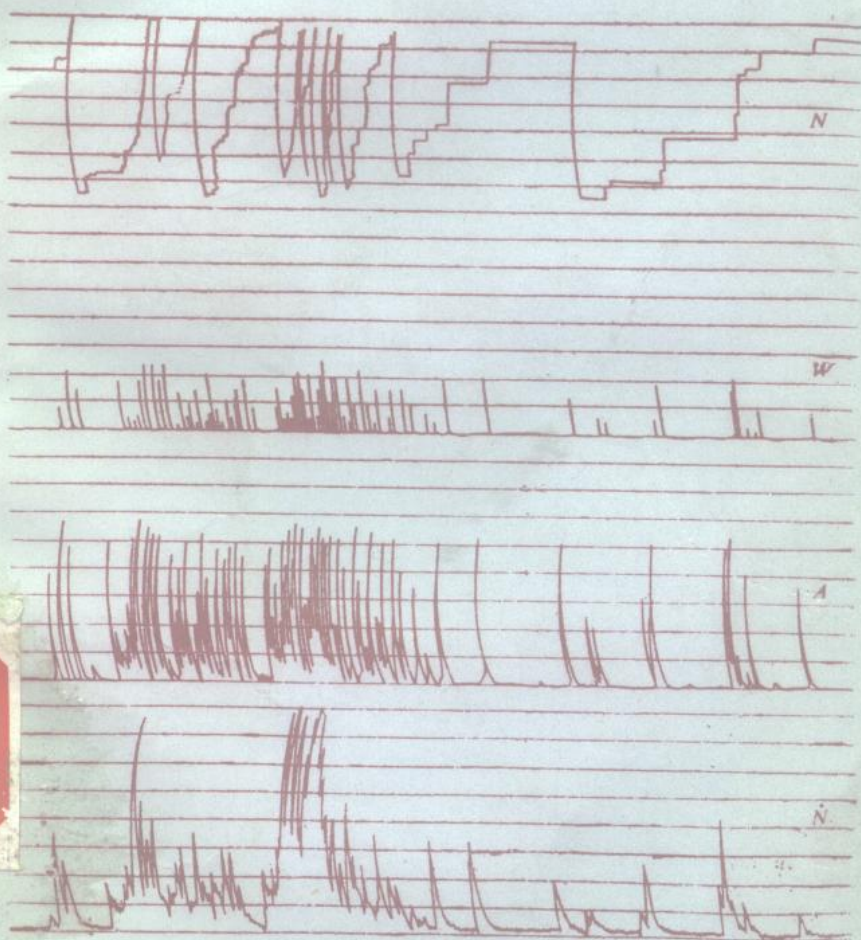


焊接和焊接接头的声发射检测

〔苏〕В. И. 伊万诺夫 В. М. 别洛夫 编著



机械工业出版社

焊接和焊接接头的声发射检测

〔苏〕 B. И. 伊万诺夫
B. M. 别洛夫 编著

吴德蕙 译
江邦治
袁振明 校



机械工业出版社

8710610

2000/12

声发射检测是无损检测新方法之一，其主要特点是可监视构件在运行中缺陷的产生和扩展。本书介绍了金属中声发射现象，阐述了利用声发射检验焊接过程的原理；介绍了氩弧焊、电子束焊、熔剂层下焊接、手弧焊、点焊时及随后检测接头质量的试验方法，以及目前国际上传感器、声发射仪器的研制进展情况，并结合实例对声发射检测法和仪器的使用作了较详细的介绍。

本书可供从事声发射技术研究、应用及对材料、焊接构件探伤的工程技术人员参考、使用。

В. И. Иванов В. М. Белов

**АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ
СВАРКИ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

МОСКВА «МАШИНОСТРОЕНИЕ» 1981

* * *

焊接和焊接接头的声发射检测

〔苏〕В. И. 伊万诺夫 В. М. 别洛夫 编著

吴德慈 江邦治 译 袁振明 校

*

责任编辑：方婉莹

封面设计：刘 岱

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一零）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $5\frac{3}{4}$ · 字数 147 千字

1987年8月北京第一版·1987年8月北京第一次印刷

印数 0,001—3,600 · 定价：1.70 元

*

统一书号：15033·6586

译者的话

随着科学技术的进步，大型、新型工业的发展，各种机械设备的不断重型化，对质量和可靠性的要求越来越高。这就促进了材料科学、断裂力学和焊接技术的迅速发展。但是作为保证质量的无损检测技术却显得有些跟不上焊接技术的发展。例如，大型动力、化工设备尤其是原子能发电站设备及管道等，大量采用了奥氏体不锈钢焊接结构，它们的运行条件苛刻、技术要求高；对奥氏体焊缝的铸造组织的裂纹，特别是焊接熔池结晶过程中的热裂纹采用传统的无损检测方法，如X射线检验、超声探伤等都遇到了比较大的困难，而作为新兴的无损检测方法——声发射方法却显示出了强大的生命力。

声发射方法不受材料性质和金属组织的影响，也不受表面状态和加工精度的限制，无需与物体接触就可监视构件在运行中缺陷的产生和扩展。而扩展着的裂纹或缺陷是最危险的。声发射法对确保设备安全运行，及时处理潜在事故危险（如原子能电站设备）有重大作用。而且它还可以用来研究和制定焊接工艺过程，从而大大扩大了它的应用范围，具有其他无损检验方法无可比拟的优越性。因此，近年来不仅受到无损检测人员的极大重视，还引起了广大力学和材料界的注意。

近十多年来我国对声发射技术的发展也做了大量工作，取得了相当的进展，但目前大都带有一定研究性质，正在开拓大量用于生产的新路子。本书中介绍的情况，对我们了解国外发展概况和实际使用方面的经验颇有参考价值。

由于译者水平所限，缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

一九八七年二月

前 言

提高工业设备工作效率的条件是提高其质量，因此必须在产品生产中减少缺陷并在使用中加强检验。工作介质参数的提高、结构承载能力的增加，无疑需要相应地提高设备的可靠性。反之，设备的损坏会带来灾难性的后果、引起巨大的物质损失，在有些情况下甚至导致人员的伤亡。

所有这些都要求必须完善传统的无损检测方法，建立和发展新的方法。目前焊接和焊缝无损检测方法和设备的发展落后于焊接生产的发展。当然不是所有科学上已研究出的无损检测方法都具有高的检验效率和高的显示性（высокоинформативный）。在很大程度上，新的无损检测方法也是如此，例如象声全息照相、声发射、脉冲辐照法等。

声发射方法（АЭ）是最有吸引力的无损检测新方法之一。它的工作原理是基于接收固体发生塑性变形和缺陷扩展时发出的声信号。

声发射有一系列特点，因而扩大了无损检测的可能性。

诺特维斯特（К. Нотвест）〔54〕研究了焊接时的热参数对超强度钢 D6aC 焊缝中裂纹形成的影响。研究表明，当焊缝中出现声发射脉冲时，必然就出现裂纹。其实，在这项研究工作中已经暗示了实现声发射的一个重要应用的途径，即借助声发射拟定焊接工艺过程。诺特维斯特还发现奥氏体转变为马氏体时发出声发射信号的可能性，他并把裂纹的形成与此反应联系起来。

焦里（В. Джолли）利用声发射方法检验奥氏体钢焊缝裂纹的形成〔77〕。他研究了钨极惰性气体保护焊接过程中的声发射，证实了既可以在焊接过程中，也可以在焊接接头冷却过程中检验焊接质量的可能性。他发现在304L和316L奥氏体钢焊缝中缺陷形成

时，声发射的最大活动性（АКТИВНОСТЬ）是在 400℃左右，这说明了声发射与热裂纹形成的联系。焦里还研究了往熔池中加入某种材料后，缺陷形成的时间和开始声发射时间的关系。对厚度为 12 mm 的不锈钢零件，这种滞后为 20~45 s。通过往熔池中加入几块钛，裂纹就立即出现。这种方法后来为很多研究人员所采用。

哈尔特拜热尔（К.Хартбауэр）〔54〕研究了 НУ-80 钢中钨极气体保护焊焊缝的开裂问题。该工作采用未完全熔透的焊缝，其目的是为了保证出现裂纹。在焊后 7 h 内声发射很强，共记录到 7078 个脉冲；在随后的 24 h 记录到 29 个脉冲；而在再后的 24 h 仅记录到 1 个脉冲。

中央机器制造与工艺科学研究院在检验各种焊接试样时，也获得了类似的结果。在焊后第一小时记录到 20~10 脉冲/h；而相继的一天只有 1~2 脉冲/h。

在七十年代初就对焊接过程和焊缝的检验进行了多方面的研究工作（科学生产部远东标准局 НПО Дальстандарт）〔8~10、14、22、23〕。

在巴顿电焊研究所（ИЭС им.Е.О.Патона）也进行了焊接过程和焊接接头检验的实验〔3〕。后来，在苏联和国外许多公司的很多研究人员进行了利用声发射现象来检验焊接过程和焊接接头的方法和设备的研究工作。关于这方面的研究已有相当多的文章刊登在各种杂志、论文集和其它出版物上〔53〕。本书提供的材料中，有一部分以前曾以概述形式介绍过〔12〕。

本书收集了许多作者发表的材料，其中一部分是本人研究的结果。第 1.2 节由科学博士、教授、列宁奖金获得者 诺沃日洛伏依（Н.М.Новожиловый）撰写。

在本书的准备工作中，中央机器制造与工艺科学研究院的金属无损检测方法研究室的许多同事给予了很大帮助。作者对他们表示真诚的感谢。

目 录

译者的话

前言

第一章 焊接缺陷和焊接接头的无损检测	1
1.1 无损检测的方法	1
1.2 焊接时的物理-化学过程和焊接接头的缺陷	15
1.3 无损检测的经济性	24
第二章 声发射的物理现象	29
2.1 现象的本质	29
2.2 声发射源的模型和信号参数	31
2.3 金属塑性变形时的声发射	45
2.4 有缺陷固体的声发射	52
2.5 声发射用于无损检测	58
第三章 焊接过程和焊接接头检验用的仪器	65
3.1 检验用的仪器和系统	65
3.2 声发射传感器	81
3.3 传感器的标定	88
第四章 焊接过程和焊接接头的声发射研究	92
4.1 各种焊接型式的声发射	92
4.2 焊接接头变形过程的检验	97
4.3 热处理过程的检验	108
4.4 带焊接接头的结构件的试验	111
第五章 焊接过程和焊接接头的检验	115
5.1 氩弧焊	115
5.2 电子束焊接	122
5.3 熔剂层下焊接和手工电弧焊接	128
5.4 点焊	132

5.5 其他类型的焊接·····	138
第六章 管子和管板焊接接头的检验·····	145
6.1 检验的特点·····	145
6.2 焊接过程·····	146
6.3 水压试验过程·····	157
6.4 运行过程中的检测·····	162
结论·····	167
参考文献·····	170

第一章 焊接缺陷和焊接

接头的无损检测

1.1 无损检测的方法

在大多数工业部门中，关键产品的无损检测已成为产品生产 and 产品使用过程中的必需工序。工业设备的功率、建筑结构的载荷、尺寸和重量指标的增大，决定了必须采用一切可能的方法和手段来找出缺陷，评定它的参数和对设备与结构的工作能力的影响。

二次世界大战期间建造的“海洋”和“里伯尔级”型焊接船舶的大量破坏以及其它一些灾难性破坏的例子，不仅吸引了材料强度方面专家的注意，也刺激了无损检测方法和手段的发展。据报导，到1946年已经发生过132起船舶破坏事件，这些船舶的接缝采用的是焊接连接。1979年5月，在芝加哥附近发生的DC-10飞机发动机紧固系统中螺栓疲劳破坏，导致了最严重的航空灾难，人员大量伤亡。

多数情况下，构件破坏是由于微观或宏观缺陷发展成的裂纹所致。物体中缺陷的存在增加了早期破坏的几率。

无损检测的主要任务是发现产品中的缺陷并确定它的参数。在使用无损检测的初期阶段，只要发现结构中的缺陷，确定它的位置和大小就足够了。对估计缺陷尺寸的准确性要求并不高，产品的报废只基于所查出缺陷的危险程度的直观概念。这种概念的基础有着经验成分，根据这种概念，缺陷尺寸越大，它对构件的危险就越大。缺陷大小（不连续性）对结构强度影响的概念是基于不连续性会减小结构承载部分的有效工作截面，因而导致作用的载荷增大。当后来研究了有缺陷材料的强度后，才理解到光靠这种概念是不够的。

在无损伤检测技术得到积极发展之前，计算结构强度时不考虑缺陷的影响。结构中的名义应力（Номинальное напряжение）通常远远小于屈服极限，大的强度余量使得构件价格增高、重量增加。

有缺陷的结构强度概念的改变刺激了无损检测技术的发展，提出了要在检验时取得大量数据的新任务。

无损检测同样也影响强度科学。问题在于在发现缺陷的同时，无损检测每次都对结构强度计算提出新的任务。此外，无损检测并不会消除缺陷，相反使检验出来的缺陷数量增加了。无损检测的灵敏度越高，检验出的缺陷数量也越多。

如果对无缺陷的结构有一定要求，例如作用在结构上的应力不超过材料的强度极限，那么有缺陷存在时，在同样外载荷下，作用的应力就会增大，这可用应力集中来解释。

板中圆孔附近的作用应力会增加三倍。椭圆孔的应力集中系数为

$$k = 1 + 2a/b \quad (1.1)$$

其中 a 和 b 分别为椭圆孔的长短轴。

这样，在缺陷附近作用的应力和不连续性的形式有关。在类似于裂纹那样的缺陷区，结构中的应力可能增大几百倍。

在裂纹尖端附近的应力场取决于应力强度因子。在无限大平板中有长度为 $2a$ 的裂纹，应力强度因子由下式决定：

$$K = \sigma \sqrt{\pi a} \quad (1.2)$$

为了提高有缺陷的产品强度计算的可靠性，必须要求有尽可能多的数据，即缺陷的尺寸、形状、位置、方向和其他参数。

为了显示缺陷和评价它的尺寸，要采用各种无损检测方法。根据国家标准 ГОСТ 18353-79 的规定，有十种无损检测方法：声学、着色、磁力、光学、射线、无线电波、热学、探漏、电学和涡流法。这些无损检测方法是有效的（активный）。这些方法的前提是：在被检验物体中激发出这种或那种物理场，由于缺陷的影响会改变物理场的参数，记录下这些变化就可以判断材料中

是否存在缺陷并估计它的尺寸大小。

让我们详细地看一看在工业中用于焊缝检验的最普遍的几种无损检测方法，其中包括超声、射线照相、磁粉和着色法。

焊接接头的超声检验 焊接接头超声检验方法的基础是在被检物体中激励高频弹性波和分析缺陷的散射波。

散射场的参数取决于缺陷大小和超声波波长的关系。当平面缺陷的尺寸比波长大很多且表面光滑时，波的反射符合几何光学定律。与波长相比而言，尺寸大的缺陷且表面不平或粗糙时，散射规律将更复杂。这种缺陷的散射波向各个方向传播，散射的图形是非常凌乱的，即入射角度或接收角度的微小变化都会使散射信号起伏很大。

当超声波垂直射在平面缺陷上时，大部分能量沿相反方向反射。如果超声波沿着缺陷的平面射在平面缺陷上，则与入射波相反方向的散射波的振幅就很小。由图1可见，根据缺陷方位不同，与入射波相反方向的散射信号的振幅变化很大。

超声波方法的这一特性在很多年内限制了利用超声检验结果进行强度计算的可能性。

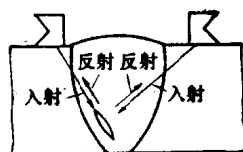


图1 不同入射角时

实际上，通常使用的超声波频率在平面缺陷对超声波的反射 0.5~10MHz 范围。对钢而言，这种频率下的超声波波长为12~0.6mm。当材料中缺陷的线尺寸比激发超声波波长短的时候，要发现这种缺陷就比较困难，因此上述值大体上就是超声波检验的灵敏度。

高频率超声波的衰减限制了用超声波检验铸造和粗晶材料的可能性，尤其是奥氏体钢。可以说晶粒为1~2级的金属不能用上述频率范围的超声波来检验。

超声波探伤仪的任务是显示缺陷并估计它的大小。在艾尔莫洛夫（И. Н. Ермолов）分析了信号沿声通道的传递问题后，已有可能定量地评定缺陷的尺寸。对于发射和接收两用的探头，接到

的信号振幅可由下式确定:

$$p_{np} = \frac{S_n A \cos \theta}{r^2} p_n \left| \frac{2I_1(ak \sin \theta)}{ak \sin \theta} \right|^2 e^{-2ar} \quad (1.3)$$

式中 p_{np} ——超声波探头附近的声压;

S_n ——探头的面积;

p_n ——发射超声波的声压;

A ——表示缺陷散射力及其大小的数值;

a ——探头的半径;

k ——波数, $k = 2\pi/\lambda$;

α ——超声波衰减系数;

r ——探头到缺陷的距离;

θ ——超声波波束方向和缺陷平面法线的夹角。

由公式 (1.3) 可以看出, 根据缺陷散射波振幅来判断它的大小是相当复杂的。为此必须已知声压公式中的所有参数。此外还要知道 A 和缺陷真实尺寸间的关系。对于形状最简单的缺陷已经获得了这种关系。例如, 对位于探头轴上垂直于波束的面积为 πR^2 的圆盘形反射体,

$$A = \pi R^2 / \lambda^2 \quad (1.4)$$

对球形反射体

$$A = R / 2\lambda \quad (1.5)$$

对于形状复杂、不知道方位的缺陷用反射体的当量面积来评定。这是按缺陷反射信号的振幅选择具有同样振幅的已知形状的反射体, 例如圆形反射体。这样所得到的(面积)大小就是实际缺陷的当量尺寸。这种测量方法的误差有时可达 100%, 甚至更大些。

总结用超声波探伤仪测量缺陷参数方面的多年经验, 已经明确了估计缺陷所必需的参数——信号振幅、假定长度 (условная протяженность)、假定高度、单位长度焊缝的缺陷数量、缺陷间的距离、缺陷在焊缝中的方位及其他一些参数。

实际上, 用回波信号的振幅来估计缺陷的当量尺寸时, 要使用标准试样和专用的图表 (АРД 图, 其中 A ——振幅, P ——

距离, π ——直径)。此外还有多种确定缺陷尺寸的方法, 但它们的精确度与其他方法差不多, 对可靠地计算强度是不够的。

用回波信号进行探伤的信息包括信号达到的时间和它的振幅。按照准确的时间来判断从探头到缺陷的距离, 按照振幅高低来估计缺陷尺寸。但是, 正如已经指出的那样, 估计的准确性是不高的。

为了有更多的检验信息, 必须增加分析散射场参数的数量。最大的可能性是全息照相方法, 或准确地说是根据超声波散射场的参数恢复缺陷形状的方法。

研究最充分的方法是普通的全息照相法, 这种方法在技术现实性上已有重要进展。

中央机械制造科学研究所的用形状系数和频谱来确定缺陷形状的方法是普通超声波检验方法和恢复缺陷形状的综合方法之间的中间步骤^[71]。

形状系数法是以在选定方向上比较缺陷散射波振幅为基础的, 选择的最合适方向是与探头发射相反的方向和由缺陷和物体背面二次反射的方向(图2)。对一定体积的缺陷不存在对超声

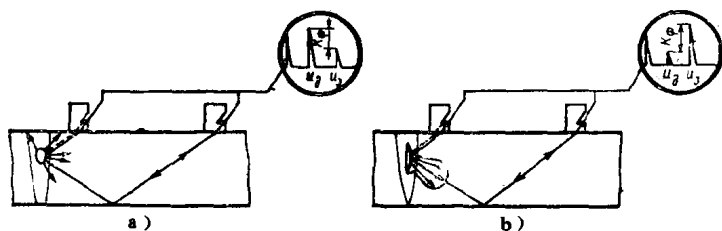


图2 采用形状系数确定缺陷形状的方法图

a) 体积缺陷 b) 平面缺陷 — u_s , --- u_d

波散射的最强方向, 入射波的能量向各方向散射, 其中很大一部分能量(与 d/λ 有关)回到探头 u_s 上。平面缺陷对超声波散射的最强方向是镜面反射方向(u_s), 而在探头发射方向的散射只有很少一部分能量(u_s)。

按照选定方向上缺陷散射波的振幅可以足够可靠地判断缺陷的形状——平面缺陷或体积缺陷。

采用频谱法探伤时有可能增加信息的数量，但随之而来的是要有更多的检验参数和复杂的探伤信号。传统超声波检验的信息只限于单频率信号的振幅。频谱法可以得到包含几种（多种）频率信号的振幅的附加信息，根据这些信息能以较高的准确性来判断缺陷的尺寸和形状。

超声脉冲发射到缺陷上时，缺陷反射脉冲的频率会改变，而接收到的脉冲的振幅随着缺陷形状不同而变化。

不同发射频率对不同形状的缺陷所得到的散射谱是不一样的（图3）。在一定频率范围内，圆形缺陷散射信号的振幅呈单一的变化。而平面缺陷在探头方向散射的信号振幅明显地起伏。按照散射谱和它的参数可以判断缺陷的形状。超声波检验时，由于超声波以窄的波束发射出来，要检查整个材料体积；要在整个零件表面上扫描，必然使检验工作量增大，从而花费很多时间。

由于在探头和零件之间有

耦合剂，在低温（ $<0^{\circ}\text{C}$ ）或高温（ $>100^{\circ}\text{C}$ ）检查零件时就有选择耦合剂的问题。超声检验有一系列严格的限制条件，其中包括相当低的灵敏度。例如，检验现代技术中最关键设备之一——核反应堆和装置的指令性文件中规定：对厚度为6~300mm和更厚的焊接件，最小缺陷的当量面积为 $2.8\sim 35\text{mm}^2$ ，这样的当量面积，在检验珠光体钢焊缝时已接近超声法能够达到的灵敏度。

大多数情况下，对奥氏体钢焊缝不用超声检验。虽然对个别大晶粒奥氏体钢做了试验性的超声检验，但这个问题并没有完全解决。

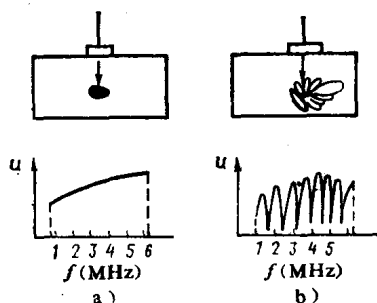


图3 不同形状缺陷散射信号的振幅与频率关系
a) 体积缺陷 b) 平面缺陷

由于确定缺陷尺寸的准确性如此之低，以致迄今为止超声波探伤仪还不能列入测量仪表的级别。照例，超声波检验的结果是指示缺陷，判断它的当量尺寸，确定它的位置。检验结果在很大程度上和检验人员的熟练程度及心理——生理状态有关，这牵涉到检查缺陷的过程和参数的评定。超声波检验不能直接回答这样一个问题——检查出来的缺陷对结构强度的影响，这种缺陷对结构是否危险。

焊接接头的射线检验 焊接接头射线检验的基础是记录穿透被检物体的射线。焊缝中缺陷处的材料密度与邻近材料不同，其结果是使透过的射线的参数有所改变。

射线检验与穿透法超声检验相似，两种方法中发射波（一种是电磁波，另一种是机械波）在物体中传播并遇到缺陷，在缺陷区后面波的强度与通过均质材料波的强度不同。

产生射线有两种方法：电子在靶上受阻（X射线）和放射性衰变产生射线。

受阻发射的射线发生器有X射线管、直线加速器、质子加速器和电子回旋加速器。在 γ 射线探伤机中常用的放射源是放射性同位素钴、铯、铀和钍等。

射线照相底片、荧光屏、闪烁晶体、电子荧光屏和其他装置可以用作穿过被检物体的射线检测器。它们的共同特点是穿过的射线与检测器相互作用，改变它的物理-化学转变，它反映出射线流的强度分布（图4）。在闪烁晶体中射线量子与晶体相互作用产生光子（光的闪烁），然后经光电倍增器（ФЭУ）形成电子流用电子方法记录。应当指出，应用最广泛的是在底片上记录检验结果的射线检验法。

在射线检验时，将放射源放在物体被检区附近，在反面放X射线底片（见图4），在物体上还放有透度计，它可以是钻有各种直径的孔的板或是铣有各种深度沟槽的板，或者是一套不同直径的金属丝。使用透度计的目的是为了通过比较由缺陷和透度计所引起的底片照相黑度改变来评定焊缝质量。

装好底片和放射源后，为使底片感光而启动放射源。曝光时间由下列因素决定：

源的剂量功率、源的能谱、被检验部件材料的密度和它的厚度、探测器对射线的灵敏度等。底片经穿过被检验物体的射线曝光后进行处理获得影象，然后再评定黑度分布。

影响到射线检验结果的因素有射线源功率、X射线底片的性能(粒度、反差等)、几何不清晰度和由于穿透被检物体射线的散射和探测器等其他因素引起的不清晰。

不连续性在X射线底片上的显象与缺陷尺寸(长、宽和沿透射方向的厚度)和方位有关，也与不连续性材料——熔渣、钨或放出的气体有关。

射线照相检验的可靠性取决于缺陷的类型。通常，发现气孔、夹渣和钨夹杂物型体积缺陷是相当容易的。对裂纹、未熔合和未焊透类平面缺陷的显示与方位有关，也和开裂程度有关。只有在缺陷的平面和射线照射方向相重合的情况下，才能在底片上清晰地看出平面缺陷。为了可靠地显示缺陷，它的开裂不应小于 $0.2 \sim 0.8 \text{ mm}$ ，而相应零件的厚度为 $10 \sim 200 \text{ mm}$ 。

射线照相检验的无可怀疑的优越性是能在底片上直观地显示出缺陷尺寸和形状。书面形式的检验结果可以长期保存，需要时

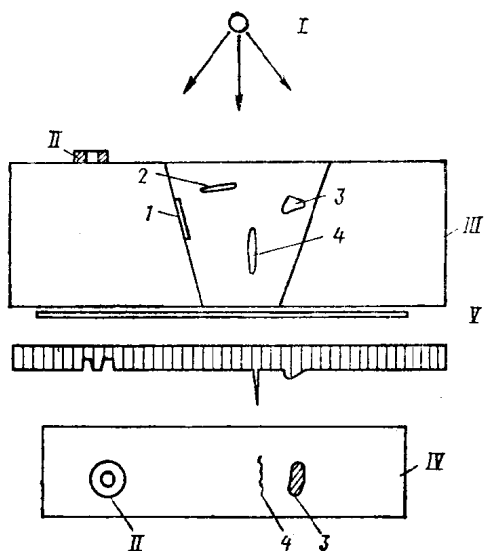


图4 射线检验图

I—射线源 II—透度计 III—被检验物体
IV—底片 V—剂量功率分布

缺陷：1—未焊透 2—未溶合 3—夹渣 4—垂直裂纹

可以重新观察。除此之外，射线照相检验结果与材料内部结构无关（X射线检验不连续性缺陷时，对材料晶粒大小不敏感）。对超声波法，晶粒大小和机械性能的各向同性有明显影响。但是，如想用射线法来代替其他方法，其中包括超声波法，则它有一系列缺点。在显示最危险的缺陷——平面缺陷方面，射线法的可靠性很低。射线法能达到的灵敏度为壁厚的1~2%。目前，对大多数重要结构是能满足要求的，但这种灵敏度只能显示体积缺陷。如果这个体积缺陷是初始裂纹，一般是显示不出来的。因此，有可能因检查出非危险性缺陷而使零件报废，反而会放过危险缺陷。

射线方法中所使用的射线对人体有害，因此必须要有屏蔽很好的透视室。建造这样的透视室要花较多的资金。此外，射线检验设备很复杂、很昂贵、例如直线加速器重量从几百公斤到几吨，包括超高频设备、电气设备、控制和机械系统。操纵这些系统要求有技术熟练的专门人才。应当指出，射线检验是最昂贵的方法，生产率也是最低的。射线检验必须在专门房间里进行，因而在车间和运行过程中难以使用。

磁力法和电磁法检验 电磁无损检验方法是基于在零件中产生的电磁场和缺陷相互作用引起电磁场的畸变上。电磁检验方法采用静态的或交变的电场和磁场，其频率可到兆赫。随着频率的改变，检验技术也不同。静态和低频通常用于磁力法检验，高频用于涡流检验。必须指出，磁力法检验只能用于磁性材料。

鉴于操作简单和技术成熟、检验重要设备往往优先使用磁力法，特别是磁粉法。使用此方法时，先磁化零件，然后观察磁力线在物体近表面区的分布。

采用两种基本磁化形式——纵向的和环向的（图5）。纵向磁化时（图5b）磁场的磁力线沿着零件分布。纵向磁化可以用永久磁铁、电磁铁或用导线缠绕在零件上并通过电流时形成的螺线管磁场。通常用电流通过被检验零件造成环向磁化。通过的电流在构件中形成磁场，其磁力线围绕电流流过的方向环向闭合。