

关于利用 γ 射线反散射测量金属板厚度的方法

1. 概 要

Taylor和其他的报告中说明了怎样利用 γ 射线反散射测定金属板厚度的方法，根据这种原理制成的携带式测厚仪已有市售了。

本文作者为了讨论以 Co^{60} 为 γ 射线源以闪烁计数器为探测器的装置的厚度测量范围、有效测定面积、测量精度，对探测系统的布置、一次射线屏蔽和散射线的甄别计数效果等进行了实验研究。

2. 实 验 方 法

考虑到能测定的厚度范围、能得到的射源形状的多样性，我们比较了 Co^{60} 和 ^{137}Cs 后，采用 Co^{60} 作为射线源。这次实验所使用的射源是将浸过示踪氯化钴盐 酸溶液的滤纸干燥后，用粘接剂密封在两层合成树脂园片中制成的。射源外径约18毫米，厚4毫米，放射性部分直径是5毫米。探测器与测定试样的安排如图1所示。为了尽可能地减少测定物以外的散射，整个装置是在木制台子上用两个间隔15厘米、高20厘米的木支架固定的。试样是水平放置在其上的。试块大小为30厘米见方，在试块的大致中央部位上垂直地紧挨着一个能使探测器上下移动的机构。为了有效地利用由试块来的反散射线，通常射线源都是与试块紧挨着的。射线源与探测器之间的距离是用插入不同长度的黄铜环调节的。

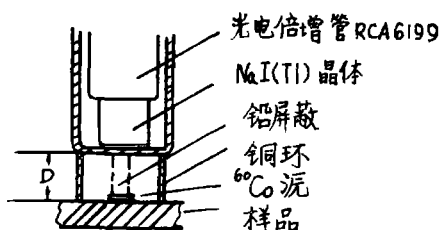


图1 反散射法中放射源与探测器的实验布置

探测器由 $\text{NaI}(\text{Tl})$ 晶体 ($\phi 25.4\text{mm} \times 25.4\text{mm}$) 与光电倍增管 (RCA6199) 组成，通过白氏阴极跟随器与单道脉冲幅度分析器相连，用记录仪记录计数率。利用电池使计数率计上流过一相反的电流来抵消一次射线的计数率输出，同时提高记录仪灵敏度，只把散射计数率输出放大并记录下来。用这样的方法提高指示值的读取精度，研究由统计起伏和其他原因造成的误差。从而获得与测厚仪相类似的数据。

由图2可以看出， γ 射线的能量分布是在一次射线的分布上叠加上从试块来的散射的形式，与钴—60 γ 射线的 180° 散射的能量(0.21MeV)相对应，有一峰值，峰值一直延续到0.4兆电子伏处。当只用幅度甄别的方法观察计数率的变化时，甄别域放在0.04MeV处。当用单道分析器对散射线选择计数时，道宽设在0.08~0.4MeV处。

为了获得应用单道幅度分析器所获得的同样效果，我们在探测器与放射源之间插了铅屏蔽企图减少一次散射线量来改善特性。所用的铅屏蔽有3种。直径为5mm和8mm的圆柱形各一个，以及上直径为5mm，下直径为10mm的园台形的一个。没有观察到它们之间效果有多大的差别，最后是就直径8mm的园柱情况讨论的。

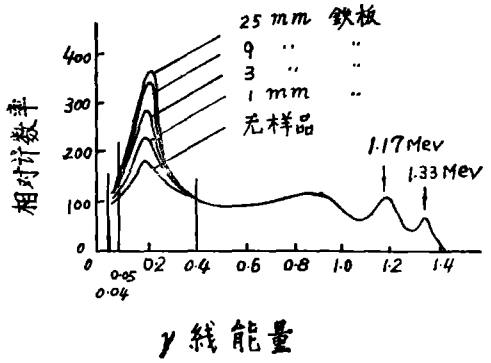


图2 钴-60反散射 γ 射线的能量分布

3. 结果和讨论

按照前面所说的道理将射线源与被测物紧挨着，改变射线源与探测器的距离研究散射线的特性。随着射线源与探测器距离的增大，不用说，计数率随之减少。然而，由图3(a)可以看到，与一次射线计数率相比，相对散射线量有增加的倾向。这一结果表明，增大探测器与射线源间的距离可以期望获得较好的测量精度。为了讨论测量精度起见，随着探测器与放射源距离的增大，我们加大了放射源强度，使测20毫米铁板时的总计数率保持在7000次/秒不变，以使总计数率的统计误差大致不变。再把各种距离下的反映厚度的计数率统计误差换算成厚度误差，就得到了图3(b)的结果。由图3(b)可知，厚度测定误差随着距离的增加而减少。但是从使用方面考虑，射源强度越低越好，而且从后面所谈到的有效测定面积的实验结果来看，射线源与探测器的距离也是受限制的。图3(b)的情况中，射线源与探测器的距离是25毫米，射线源强度为17微居里，时间常数为10秒，测3~15毫米铁板时，误

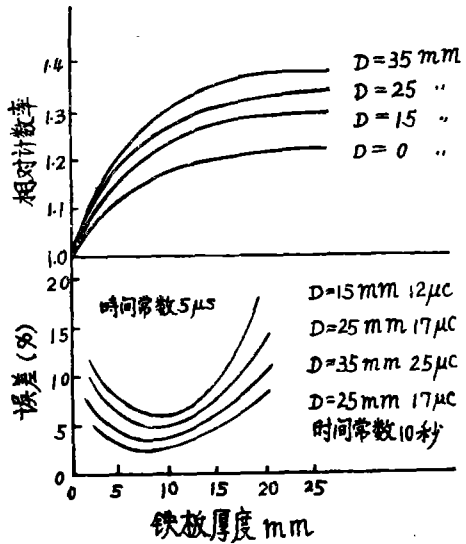


图3 测铁板时的反散射特性 (a) 和测量误差 (b)

差为3%。测3~15毫米铁板时，误

差在 5 % 以下。如果进一步增大时间常数, 测定范围也可以扩大至 2 ~ 18 毫米。图 4 表示的是射线源与探测器距离为 25 毫米时, 铁、铜、铝和合成树脂的散射特性。与铁相比, 铜的曲线上升快, 而且达到散射饱和时的厚度小。也即: 测定精度稍好一些, 而测定范围限制在 2 ~ 15 毫米。比这些试料原子序数更大的试料, 这种倾向更显著。铅板 3 毫米就饱和了。原子序数小的铝和合成树脂的散射系数小, 并且由于当厚度大于 25 毫米时散射测定的几何效率变坏, 不能期望散射量再增加。因此, 看来用这种方法测厚的对象以铁、铜、黄铜等为最适宜。

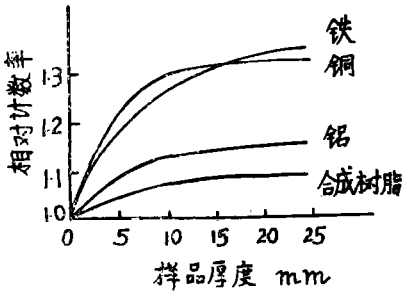


图 4 各种材料的反散射特性 ($D = 25$ 毫米)

定面积时是不适用的。采用幅度分析器时与此相反, 探测部分的结构不改变, 而性能大为改善, 可认为是分析电路稍微复杂一些并不成问题的实验室测定的适用方法。但是对于携带式的测定仪器等使用次数多的仪器, 使用、维护和稳定性方面都是不利的。为了讨论厚度测定位置的分辨能力起见, 我们把探测器从试块的一端向中心移动, 求达到这个试块的饱和散射量的 90% 的点, 认为以这点到试块边沿的距离为半径的园面积、就是有效测定面积。前叙的数种条件下的有效测定面积如表 1 所示。采用单道分析器时, 测定面积没有变化, 故没有列入。随着射线源与探测器距离的增大, 测定面积扩大, 采用铅屏蔽时有效测定面积更大。

其次, 为了改善一次入射线与散射线的计数比起见, 我们对用单道分析器选择计数和用铅屏蔽 (直径 8 毫米) 以及两者并用时的效果进行了研究。图 5 (a) 给出了射线源与探测器距离为 25 毫米时的结果, 而探测器与射线源的距离越大 (铅屏蔽长), 铅屏蔽的效果越显著。由图 5 可以看出, 与既不用铅屏蔽也不用单道分析器的情况相比, 散射线的计数比和测定精度都改善了。铅屏蔽的方法不需要附加任何计数电路, 是简便的方法, 但如下所述, 在有必要考虑有效测

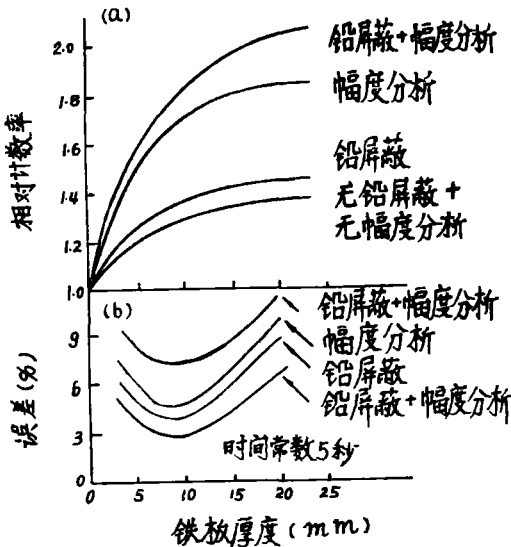


图 5 采用筒型铅屏蔽和脉冲幅度甄别器 ($D = 25$ mm) 时的反散射特性 (a) 和测量误差 (b)

表 1 用反射法测厚时的有效直径

射线源与探测器 的距离(mm)	样 品 (铁) 厚 度 (mm)	有效直径 (mm)
30 (铅)	19	40
30	19	31
25	19	30
15	19	28
25	4.5	24

考虑到测定精度、测定面积等实验结果，射线源与探测器距离为25毫米，源强为25微居里，时间常数为15秒，不使用幅度分析器和铅屏蔽，可以说对实用测定已足够了。

张志永译自《第6回日本ラジオアイソトープ会
议报文集〔6〕》455～457