

本文系初次試驗結果,缺陷甚多,因此增強小麦抗旱性能的可靠适宜劑量及生理机制还有待进一步研究。

### 参 考 文 献

- [1] 桂美祥,崔微:銅对棉花幼苗生长和抗旱力的影响. 植物学报, 6 (1) 1957, 73—78.  
[2] 馬克西莫夫:植物生理学簡明教程(中譯本),高等教育出版社, 1948.

## 应用放射性同位素和核辐射研究工业探伤过程

中国科学院山西省分院原子能研究所

本文敘述了国外应用放射性同位素和核辐射进行工业探伤研究中的一些进展,表明了原子能在这方面的和平利用有着广阔的前途。同时,对我单位采用工业 $\gamma$ 探伤法所取得的一些成就与經驗进行了总结,并指出了工业 $\gamma$ 探伤法是一个行之有效的无损探伤方法。

### 緒 言

在工业生产中产品质量的检查具有特别重要的意义。例如:对于制造負荷很大的机器——噴气发动机、渦輪机、飞机、蒸气动力設备、高吨位行車等,就极为需要一个可靠的无损坏的对上述产品质量检查的方法。同样,在建筑工业和其他工业亦是如此。

现在应用的检查方法很多:如磁力法、螢光法、超声波法、染色法和X射线探伤法等等,而应用放射性同位素和核辐射检查产品质量則是最有前途和最有成效的新兴方法之一。在这方面利用放射性同位素所发出的 $\gamma$ 射线进行探伤已經卓有成效地应用在工业产品的检查中。

工业 $\gamma$ 探伤法的特点是:仪器简单、輕便、易于搬运,能够在任何时间和任何場地进行探伤检查;由于放射性制剂的种类很多,可以根据探伤的对象不同而挑选不同的辐射源与放射性强度进行探伤,而得到滿意的結果。

工业 $\gamma$ 探伤法分为两种: $\gamma$ 射线照相探伤法和 $\gamma$ 射线电离探伤法。第一个方法的优点是,具有足够高的灵敏度和能获得内部缺陷的照相图示;缺点是,不能連續地进行检查,生产率低。这个方法用得較早、較成熟和較广泛;第二个方法虽灵敏度較差和难于估計缺陷的大小与形状,但能連續地进行检查(这对連續生产具有特別意义)、速度快和生产率高。这样看来,二者正好取长补短。第二个方法是新近发展的一个有前途的方法。

现在广泛地采用各种放射性同位素( $\text{Co}^{60}$ 、 $\text{Ir}^{92}$ 、 $\text{Cs}^{137}$ 、 $\text{Eu}^{155}$ 、 $\text{Tm}^{170}$ 等)作为工业 $\gamma$ 探伤之用。除此之外,也开始应用 $\beta$ 射线、中子以及由高功率的电子回旋加速器所产生的辐射等。因此,应用放射性同位素和核辐射研究工业探伤过程成为世界各国所关心的問題<sup>[1,2,3,4]</sup>。苏联学者在这方面的先进經驗更是值得我們学习的<sup>[5,6]</sup>。本文的目的之一,即叙述在此領域中的一些研究成果。本文另外一个目的,就是总结本单位开展工业 $\gamma$ 探伤工作的經驗。

### 国外工作的一些进展

#### 一、选取合适的辐射源

正确地选取辐射源对于提高探伤的灵敏度、清晰度和縮短曝光时间都具有重要的意义。为了选取合适的同位素,必須考虑其衰变的特征:衰变方式、能量、半衰期等。

1896年貝克勒尔(Becquerel)进行了一次著名的試驗<sup>[7]</sup>,他将金属銀放在放射性矿物(主要含有鐳和新釷)和照相底片之間,結果在底片上发现銀的輪廓。这是利用 $\gamma$ 射綫进行照相的开始,也就启示了人們利用鐳来进行 $\gamma$ 探伤。1943年坦尼(Tenney)首先应用了人工放射性同位素 $\text{Na}^{22}$ 和 $\text{Cu}^{64}$ 。1946年Tenney比較了鐳、釷和鈷的輻射作用<sup>[8]</sup>。三年之后依斯脫霍特(Eastwood)提出了 $\text{Ir}^{192}$ 对射綫照相是合适的同位素<sup>[9]</sup>。1951年威斯特(West)使用了 $\text{TU}^{170}$ <sup>[10]</sup>以及后来应用了超鈾元素 $\text{Am}^{241}$ 和 $\text{Eu}^{155}$ <sup>[11]</sup>。进而达特利(Dutli)、泰勒(Taylor)和依斯脫霍特分別研究了 $\text{Cs}^{137}$ 。現在有下列一些放射性同位素可作 $\gamma$ 射綫探伤用(表1)。

表1 可作为 $\gamma$ 探伤用的放射性同位素

同 位 素	半 衰 期	$\gamma$ 射綫能量(百万电子伏特)
$\text{Na}^{22}$	15 小时	1.4, 2.8
$\text{La}^{140}$	40 小时	2.5, 1.6
$\text{Ra}^{226}$	1590 年	平均0.8, 最高2.0
$\text{Co}^{60}$	5.23 年	1.17, 1.33
$\text{TU}^{182}$	111 天	1.2
$\text{Ir}^{192}$	74 天	高达0.5
$\text{Cs}^{137}$	33 年	0.66
$\text{Cs}^{134}$	2.3 年	高达0.7
$\text{Ce}^{144}$	28.2 天	高达0.135
$\text{Eu}^{155}$	1.7 年	0.087
$\text{TU}^{170}$	12.5 天	0.084
$\text{Am}^{241}$	470 年	0.060

其中 $\text{Na}^{24}$ 和 $\text{La}^{140}$ 的 $\gamma$ 射綫具有較大的能量,穿透能力強,但由于半衰期太短,仅用于特殊目的。

在不能大量生产人造放射性同位素时,鐳用的較广;此后,則被 $\text{Co}^{60}$ 代替。

放射性 $\text{Co}^{60}$ 是現在工业探伤中应用最广泛的一种同位素。由于 $\text{Co}^{60}$ 具有很高能量的 $\gamma$ 射綫,用它可以有成效地檢驗厚度由25—250毫米的鋼、鉄、銅等制成的工件,以及60—350毫米的鋁及鋁合金制件<sup>[5]</sup>。

$\text{TU}^{182}$ 具有与 $\text{Co}^{60}$ 类似的性質,比 $\text{Co}^{60}$ 更易活化制备;但半衰期只有 $\text{Co}^{60}$ 的1/17。

$\text{Ir}^{192}$ 用于检查較薄金属时(約60毫米以内)具有良好效果,探伤的灵敏度和清晰度都非常令人满意。这是在目前探伤中仅次于 $\text{Co}^{60}$ 的一种应用較广泛的放射性同位素。

$\text{Cs}^{137}$ 輻射的能量接近 $\text{Ir}^{192}$ ,由于其具有較长的半衰期,因而考虑代替 $\text{Ir}^{192}$ 。应当指出, $\text{Ir}^{192}$ 和 $\text{Cs}^{137}$ 适用的厚度范围并不完全相等。 $\text{Cs}^{137}$ 主要是裂变产物,現在还难于获得放射性比度高、体积小放射性制剂。

$\text{Cs}^{134}$ 也有着上述类似的情形,由反应堆中所生产的 $\text{Cs}^{134}$ 比裂变产物中分离出的 $\text{Cs}^{134}$ 具有較高的放射性比度。

$\text{Ce}^{144}$ 可应用于检查下列的产品<sup>[12]</sup>:

- (1) 厚度为0.5—2毫米鋼制的焊接和鑄件;
- (2) 厚度为0.5—4~5毫米的鈦合金制品;
- (3) 厚度为1—8~10毫米的鋁合金制品;
- (4) 厚度为1—15毫米的鎂合金制品。

$\text{TU}^{170}$ 能够获得很好的 $\gamma$ 照片。文献<sup>[12,13]</sup>都研究了它在进行較薄金属方面的探伤。它与 $\text{Eu}^{155}$ 一样,主要用于下列产品的检查<sup>[12]</sup>:

- (1) 鋼厚度为 1—15 毫米的焊接和鑄件;
- (2) 厚度为 2—30 毫米的鈦合金的焊接和鑄件;
- (3) 厚度为 3—50 毫米鋁合金的焊接和鑄件;
- (4) 較厚的美鎂合金鑄件;
- (5) 无損检查內部安排有錯誤的成套設備。

这个同位素的缺点是:每十次核衰变才能发射一次  $\gamma$  射綫,这样就延长了曝光的时间。

$\text{Eu}^{155}$  有类似于  $\text{Tu}^{170}$  的辐射。它能从裂变产物或中子活化  $\text{Sm}$  制得。主要困难是,如何从稀土元素进行提純,以及  $\text{Eu}^{155}$  与  $\text{Eu}^{152}$  和  $\text{Eu}^{154}$  的分离問題。

已經能順利地应用  $\text{Am}^{241}$ , 但目前还不能大量获得。

从上看来,可以根据其发射  $\gamma$  射綫能量的大小,依次进行厚、薄金属的探伤。

关于以上放射性同位素在探伤中更具体的应用以及各种性质、規律的研究(例如每种放射性同位素合适探伤厚度及灵敏度),可以从所列举的文献中找到,这里就不贅述。

已經指出,利用放射性同位素作 300 毫米以上鋼制品的探伤就非常困难,这除了需要很长的曝光時間外,还要决定于能透过的  $\gamma$  射綫能量。因此近年来开始应用能量由 2—50 兆电子伏的电子回旋加速器来进行工业探伤的研究。表 2 列出了能量为 22 兆电子伏的电子回旋加

表 2 22 兆电子伏的回旋加速器与 30 克镅当量的  $\text{Co}^{60}$  进行透照时所需的曝光時間的比較

鋼的厚度(毫米)	曝 光 时 間	
	22 兆电子伏电子回旋加速器	$\text{Co}^{60}$
50	1.3 秒	0.66 小时
100	3.6 秒	2.8 小时
150	13 秒	12 小时
200	47 秒	46 小时
250	2.5 分	159 小时
300	7.6 分	600 小时
350	21 分	透过
400	57 分	实际不能透过
450	145 分	实际不能透过
500	7.15 小时	实际不能透过

速器和放射性强度为 30 克镅当量  $\text{Co}^{60}$  进行探伤时所需曝光時間的比較<sup>[14]</sup>。从这里我們可以看出,电子回旋加速器在大厚度的金属探伤中的重要作用。

这里简单地提一下,根据  $\beta$  射綫的射程进行更薄金属的探伤也是可能的。

綜上所述,無論是在厚的还是在薄的金属产品检查中,都能够找到合适的輻照源,由此可知原子能科学在探伤应用中的广闊前途。

## 二、选取合适的照相条件

在  $\gamma$  射綫照相法中提高探伤的灵敏度和縮短曝光時間,是一个有待进一步解决的問題。这方面的影响因素很多,前面討論的关于正确地选取輻照源就是一个重要方面。本节主要討論其他的影响因素。

根据达果欽科 (П. К. Тагочднко)<sup>[5]</sup> 的推导,最大的绝对灵敏度(即为能发现工件中缺陷沿射綫穿透方向上的最小尺寸而言)应为:

$$X = \frac{0.02}{0.43\gamma(\mu - \mu_x)}$$

式中,  $\gamma$ ——反衬度系数;  $\mu$ ——工件的线性吸收系数;  $\mu_z$ ——杂质的线性吸收系数。

由上式看来,探伤的灵敏度决定于物体的种类和胶片的性质。其实,还应当考虑到实际并非单束点源发射,射线通过不同的厚度后能量减弱程度的不同以及造成各种次级散射现象等等,都严重地降低了探伤的灵敏度。

文献<sup>[15]</sup>详细地研究了几何因素(源的大小、焦距、金属的厚度、缺陷的形式和大小以及在工件中的位置)和射线的硬度对灵敏度的影响。文献<sup>[16]</sup>在理论上和文献<sup>[16,17]</sup>在实验上研究了胶片的性质对灵敏度的影响。文献<sup>[18,19]</sup>研究了按照透照金属厚度的不同而改变辐射的能量,并同时引起散射对灵敏度的影响。

文献<sup>[20]</sup>收集了理论和实验资料,研究了散射对照相灵敏度的影响和给出了确定 $\gamma$ 照片灵敏度的计算方法。这个经验公式于下(指透照钢而言):

$$\Delta d = \frac{0.005(2 + \delta)}{\mu}$$

式中,  $\Delta d$  表示缺陷值(厘米);  $\mu = \exp\left(-\frac{V^{0.8}}{1.35}\right)$  是依赖于辐射能量的吸收系数( $V$  是辐射能量,兆电子伏); 0.005 和 2 是考虑到胶片、增感屏、胶片的黑度和焦距等之参数; 0.8 和 1.35 是考虑射线的硬度和被透过物质(钢)的原子序数之参数;  $\delta$  是金属厚度(厘米)。

在透过铜时  $\mu = \exp\left(-\frac{V}{1.45}\right)$ ; 在透过铝时  $\mu = \exp\left(-\frac{V^{0.33}}{0.52}\right)$ 。

根据上式的计算和实验的结果,二者误差在允许范围以内。

为了缩短曝光时间,在 $\gamma$ 照相法中通常使用增感屏:铅箔和荧光屏。

我们知道, $\gamma$ 射线能量的吸收随原子序数的增加而增加,当被同样强度及硬度的 $\gamma$ 射线辐照时,在原子序数大的物质中每秒单位体积内,形成的自由电子数比在原子序数小的物质中形成的自由电子数多。若将铅箔夹住胶片,则从铅箔上产生的自由电子会落在乳剂层上引起“光化作用”,从而缩短曝光时间。除此之外,在没有铅箔时,由于次级电离的结果,胶片周围的物质跳出来的电子对胶片产生雾翳,降低了 $\gamma$ 照片的质量,而有了铅箔之后,则可起屏光作用。通常采用厚 0.1~0.4 毫米的铅箔。

由于荧光物质可以容许光线透过,而且它的厚度比底片上乳剂光敏层厚得多,因此 $\gamma$ 射线的很大一部分能量在荧光物质中转变成光能。这种光能被乳剂光敏层吸收,引起潜影。作为增感屏用的荧光物质的选择,决定于它们发出的荧光光谱和荧光亮度。这决定于荧光物质的化学成分和晶体结构。在荧光亮度相同的情况下,当胶片的最大灵敏度部分符合于荧光屏发出的荧光光谱成分时,增感因数最大。钨酸钙可见荧光亮度很小,可是它们的光谱成分对 $\gamma$ 射线胶片的乳剂最为适宜,因而广泛被采用。

关于焦距的选择,克拉克(Clarke)<sup>[2]</sup>认为,焦距的大小至少应比被透照工件的厚度大六倍或者比放射源的直径大 100 倍。

关于黑度的选择,应根据不同的放射性同位素选取灵敏度最大时的黑度范围。一般在 1.2—2.0 之间。

### 三、 $\gamma$ 射线电离探伤法

前已指出, $\gamma$ 射线照相法是目前沿用较广的一种方法。由于其本身的缺点(生产率低和不能连续探伤),这就刺激着人们寻求新的探伤方法。曾经有人用电离室和气体计数管做过试验,但由于前者灵敏度低、惰性大,后者计数效率低(对 $\gamma$ 射线只有千分之几)、分辨能力差均未

能满足要求。近年来利用闪烁计数器进行 $\gamma$ 射线探伤获得了可喜的结果。 $\gamma$ 射线电离探伤法逐渐为人们所重视。

从文献上来看,苏联在这方面的工作很有成效。例如 ИД-3 型电离探伤仪<sup>[5]</sup>已经成功地用于探伤的检查中。另外从文献<sup>[24,22,23,24,25]</sup>中亦可看出这方面的研究情形。利用闪烁计数器的成就之一,就是透照厚度 200—300 毫米制品时,灵敏度可达到 2—2.5%。

这样看来电离探伤法是一个很有前途的方向。

### 本单位工业 $\gamma$ 探伤应用在焊缝质量检查中的经验总结

#### 一、工业 $\gamma$ 探伤工作的意义

随着工业生产的飞跃发展,采用无损 $\gamma$ 探伤法来鉴定产品质量,就显得极为重要。利用 $\gamma$ 射线能够可靠地检验焊缝中所存在的夹渣、气孔、未焊透、裂缝等缺陷。

在提高产品质量、试制新产品方面,说明了工业 $\gamma$ 探伤的作用。这可从新产品的逐年递增与焊缝废品率的逐年递减予以说明(表 3)。

表 3 新产品逐年递增与焊缝废品率逐年递减的比较表

	新产品的试制	废品率
1958 年	试制 75 吨行車	10%
1959 年	试制 275 吨行車	10.5%
1960 年	试制 350 吨行車	5%

由表 3 看出,尽管新产品试制要求较高的技术条件,但废品率基本上是平稳的,且有下降。

在提高产品质量、改进焊缝工艺过程方面,工业 $\gamma$ 探伤亦起了很大的指导作用。每次新工艺的改进,必须对焊缝质量作多次检查,从而寻找适合的工艺条件。

最后,我们将各种探伤进行比较(表 4),说明 $\gamma$ 探伤法有其特有的优越性。

从表中看, $\gamma$ 射线探伤法有很多优点。我们认为它特别适用于焊接车间的使用,这是因为:1)如果限于对 9—60 毫米的焊件进行探伤,这样的厚度对 $\gamma$ 射线透照来说,是合适的;2)

表 4 各种探伤法应用情况的比较

技术指标 探伤法	用电	工件缺陷的检查情况	透照工件的厚度	运输情况	维护使用	透照工件的表面要求
$\gamma$ 射线	不用或少用	内部和表面	300 毫米以下	方便 (0.5克镭当量)	不怕振动	无
X 射线	用	内部和表面	20毫米以下	笨重	怕振动	无
磁力探伤	用	表面和近表面	20毫米以下	难于运输	不怕振动	表面清理
染色探伤	不用	表面	表面	方便	不怕振动	表面光洁度 $\nabla\nabla$ 。
涡流探伤	用	表面	近表面	方便	怕振动	表面清理
超声波探伤	用	内部 (不能检查表面)	2000毫米以上	方便	怕振动	表面光洁度 $\nabla\nabla$ 。

焊接車間一般振動大,电压不穩,这对其它探伤設備影响很大,而对 $\gamma$ 探伤設備則没有什么影响;3)由于 $\gamma$ 探伤机搬运簡單,这就适于現場探伤,且方便可行。当然,总的說来,我們主张在工矿企业中采用各种探伤設備,建立綜合探伤系統。

## 二、工业 $\gamma$ 探伤法在焊縫質量检查中的应用

根据我們所做的工作,在此只就对焊縫应用中提高照相質量的因素作一些討論。

1. 焦距的确定:曾进行过一些摸索,試图选用 200 毫米或者更短的焦距进行透照,但发现底片霧翳很大。加大焦距进行試驗后,选取了 300 毫米較為合适。以后在各种強度(0.5、5、50 克錳当量)透照时,均采用了此焦距,能够滿足检查的要求。

2. 曝光時間的縮短及其确定:增大了焦距,相应的曝光時間增长很大,因此采用了增感屏:鉛箔与荧光屏。这样就大大的縮短了曝光時間。試驗結果于下(表 5,表 6)

表 5 焦距为 300 毫米,鋼制工件厚 30 毫米,曝光時間为 80 分钟改变鉛箔厚度时(二边同时改变)对增感的影响(探伤仪器采用  $\Gamma_{\text{Yn}}-\text{Co}-0.5-1$  型)

鉛箔的厚度(毫米)	黑 度	$s/s_0(s_0 \approx 1.33)$
0.000	1.33	1.00
0.002	1.54	1.16
0.05	1.74	1.31
0.1	1.64	1.23
0.2	1.71	1.29
0.3	1.71	1.29
0.4	1.80	1.35
0.6	1.70	1.28
0.8	1.72	1.29
1.03	1.43	1.08

由表 5 中看出,鉛箔具有增感作用,但并不十分显著。

另外,由表 6 看出,用双层荧光屏試驗对增感的影响,效果良好。加了荧光屏(鎢酸鈣)后,曝光時間大大縮短,說明荧光屏对增感起了良好的影响。

表 6 焦距 300 毫米,工件厚 30 毫米,曝光時間 20 分钟,改变鉛箔与荧光屏时对黑度的影响

	黑 度	$s/s_0(s_0 = 0.80)$
沒有鉛箔与荧光屏的胶片	0.80	1.00
双层鉛箔增感屏( $\sim 0.2$ 毫米)	1.08	1.35
双层荧光增感屏( $\text{CaWO}_4$ )	1.47	1.84
双层鉛箔(40.2 毫米)与荧光屏(鎢酸鈣)	1.53	1.91

根据以上試驗,我們在实际工作中采用了 $\sim 0.2$ 毫米厚的鉛箔与荧光屏( $\text{CaWO}_4$ )夾住胶片,以縮短曝光時間。

經過无数次的試驗,我們得出了在上述条件下使用  $\Gamma_{\text{Yn}}-\text{Co}-0.5-1$  型探伤机和 P-X 牌号胶片时,确定曝光時間的經驗公式。通过这些公式所确定的黑度一般都在 1.4 左右。这些經驗公式于下:

a) 鋼工件厚度在 20 毫米以下所需曝光時間:

$$t = \frac{1}{2} d$$

式中,  $t$ ——所需曝光時間(分);  $d$ ——鋼工件厚度(毫米)。

b) 鋼工件厚度在 20—40 毫米范围,所需曝光時間:

$$t = \frac{1}{2} d + 0.1d.$$

c) 鋼工件厚度在 40—60 毫米范围,所需曝光時間:

$$t = \frac{1}{2} d + 0.15d.$$

### 3. 透照的几何条件的选择与确定:

对于平焊說来,一般的缺陷大都在焊缝的起端。这是由于刚起弧,焊接条件难于掌握,且不稳定,容易生成缺陷。因此,我們常把探伤的部位选取在初焊起头的 300 毫米以内(占整个焊缝的 30%),其余部分可不进行探伤。

焊缝的縫綫应当与辐射源圆柱体的中心軸綫平行,則可减少半影。

在焊缝的两边用 5—20 毫米厚的鉛板遮盖,可减少底片的雾翳,提高底片的清晰度。同样,在暗盒下面放一平滑的厚度約 5~10 毫米的鉛板,則可屏蔽反射、散射所引起的雾翳,效果也很好。

在焊接車間經常要用 0.5 克鐳当量鈾炮进行現場探伤,为此我們設計的装置周围用鉛皮围成。这不仅使几何条件易于控制准确,而且对安全防护也有很大的意义。采用此装置以后,則在一米左右亦不超过安全允許剂量(以每天 8 小时受 0.05 仑計)。为了运源安全还設計了方便可行的运源小車。同时,若将探伤过程納为生产中的一道工序,組成一条自动綫,这对提高探伤的生产率和安全防护都有极大的好处。

关于在其它焊接質量检查方面(如管道的焊缝、丁字焊、十字焊等焊缝的探伤),我們对于如何选取投射角度曾做过一些工作,也取得了一些經驗。

下面简单地討論一下几种常見缺陷的判断并分析产生的原因。

1. 气孔: 这种缺陷在  $\gamma$  射綫照片上呈圓形或橢圓形的黑色小点。圓的中部黑度較深,圓周則較浅。这些黑点通常以单个或密集的方式出現。

造成气孔的原因是: a) 焊接表面处有污垢,如油漆、鉄锈、水和其它有机物等; b) 焊条的复盖葯物太潮或成份配制不当; c) 焊速太快; d) 电弧太长或母材及焊条的脫氧性不够等。

2. 未焊透(未熔合): 常見的有三种情况。

i) 根部未焊透,这包括角焊(丁字焊)、平头焊、剖口焊等。在底片上以綫条呈現,黑度可能均匀,也可能不均匀,既可是連續的,也可是断續的。这决定于熔透的情况。

产生这种缺陷的原因有四: a) 焊缝太小; b) 电流电压不当; c) 焊接速度不宜; d) 剖口不正常(不規則)。

ii) 剖口未焊透,这包括多种焊接,如对焊、丁字焊等。这种未焊透常伴有夹杂及气孔,在底片上呈条状,但不規則。

这种缺陷产生的原因为: a) 剖口不正常; b) 剖口处不清洁; c) 焊速太快; d) 焊条直径太大或种类不对; e) 电流电压不当。

iii) 多层焊道中,层間未焊透。这存在于一层焊材与另一层焊材的接合处。其反映在底片上呈黑色綫条,不长,但可断續出現。

造成这种缺陷的原因是: a) 焊速太快,电压电流不够; b) 焊条傾斜度不够; c) 焊层排列不够。

3. 夹杂: 在底片上多呈条、块或多角的不規則形状。有时輪廓分明,有时則否;且多和未焊透并存。产生的原因与未焊透类似,亦有例外。

## 結 論

1. 根据文献资料,本文叙述了国外在应用放射性同位素和核辐射于工业探伤方面,所进行的一些研究情况。由此可以得出,原子能科学在工业探伤方面的应用有着广阔的前途。

2. 总结了采用工业 $\gamma$ 探伤法检查产品质量所取得的一些成绩与经验。肯定了 $\gamma$ 探伤法是一个有效的有前途的无损探伤方法,是工业生产中不可缺少的有力武器,值得推广。

3. 考虑到工业 $\gamma$ 探伤还存在着一些有待改进的缺点(如灵敏度还不够高,照片的清晰度还不够理想),因此,一方面应当积极提高现有的水平,另一方面应当寻求新的辐照源和测量检查方法,以便提高探伤的灵敏度、准确度和提高生产率等。

## 参 考 文 献

- [1] С. Т. Назаров: Применение радиоактивных изотопов в дефектоскопии, Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии, Женева, 1955, том. 15, p/705.
- [2] E. T. Clarke: Industrial Inspection with Reactor Isotopes Proceedings of Intern. Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, 1955, vol. 15, p/162.
- [3] W. S. Eastwood: The Development of Gamma Radiography, 同上, p/464.
- [4] М. Баймлер: Современное применение в чехословакии радиоактивных изотопов для испытания материалов без повреждение, труды второй международной конференции по мирному использованию Атомной анергии, Женева, 1958, (Доклад №2120, Чехословакия).
- [5] Л. К. Таточенко и др.: Промышленная гамма-дефектоскопия. Металлургиздат, 1955 (于在茲譯, 科技出版社, 1956).
- [6] С. В. Румянцев и др.: Контроль качества металлов гамма-лучами, Металлргиздам, 1954 (欧阳可強譯, 重工业出版社, 1955).
- [7] H. Becquerel: Comptes Rendus, 122, 420—1086 (1896).
- [8] G. H. Tenney: Radioactive Isotopes as Sources in Industrial Radiography Non-Destructive Testing (Spring 1948).
- [9] W. S. Eastwood: Survey of Pile-made Isotopes or Radiography, AERE. I. R. 386 (1949).
- [10] R. West: A low energy gamma-ray source for radiography and thickness measurement, Nuclconics, Sept. 76 (1951).
- [11] R. West: Low energy gamma ray sources, Nuclconic, Feb., 20 (1953).
- [12] С. В. Румянцев и др.: Изотопы  $Tu^{170}$ ,  $Eu^{155}$  и  $Ce^{144}$  как источники излучения для контроля тонкостенных изделий, Труды второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии женева, 1958, (Доклад № 2235).
- [13] С. В. Румянцев: Гамма-дефектоскопия тонкостенных деталей с использованием изотопа  $Tu^{170}$  Труды всесоюзной конвенции по применению изотопов и ядерных излучений, 1957, "Машиностроение и Приборостроение" 329—333.
- [14] И. Г. Факидов и др.: Дефектоскопия стальных изделий большой толщины 同上 334—338.
- [15] А. К. Транезников: Рентгенодефектоскопия Машгина (1948).
- [16] H. E. Lonis and C. Carrett: Can. Lostrn Res., 26, 292 (1948).
- [17] А. Н. Орлов: Расчет оптимальной плотности почернения в гамма-дефектоскопия металлов, сборник статей, Изд. А. Н. СССР (1955).
- [18] D. O. Conner and I. I. Hirschfeld: Non-Destruct. Test, Summer 33 (1951).
- [19] Н. П. Гражданкина и др.: Зависимость выявляемости дефектов от плотности почернения гамма-снимка при просвечивании стали гамма-лучами  $Co^{60}$ , 同[17].
- [20] А. Н. Орлов: Расчет влияния рассеянного излучения на чувствительность радиографического метода; 同[17].
- [21] Л. К. Таточенко: Ионизационный метод гамма-дефектоскопии, 同[13] 304—309.
- [22] И. Г. 法吉多夫: 厚截面金属的 $\gamma$ 射线探伤用的电离法, 苏联科学院和平利用原子能会议论文集(技术科学之部), 120—131 (1958).
- [23] А. А. Архангельский и др.: Применение сцинтилляционного счетчика для контроля качества изделий, 同[13], стр. 314—319.
- [24] И. Г. Факидов и др.: Применение сцинтилляционных счетчиков в бетатронной дефектоскопии, 同[13], стр. 310—313.
- [25] А. А. Самохвалов и др.: Исследование гамма-дефектоскопии с ионизационным счетчиком, 同[17].