

放射性同位素在冶金学與 金屬物理学上的應用

上海科学技術情报研究所譯印

1961

放射性同位素在冶金学与金属物理学上的应用

序 論

放射性同位素广泛的利用于科学和技术的许多方面。利用放射性同位素可以直接研究过去无法观察的一系列生产过程。这里首先是同位素交换的反应，物质在单相和多相介质中的转移以及在一种物相和其他种类物相微量中元素的再分配。放射性同位素方法的最大的优点是它有高度的灵敏性。利用放射性指示剂可以发现 10^{-16} 克混合物中的情况。放射性同位素也能用作透射非透明物体的照射源来确定制件的厚度物相的密度和成分，各种密度物相分配的水平面和面积和作为自动调节系统中的发射器。在该评论中是研究放射性同位素在冶金学和金属物理学中应用的一些问题。

在苏联放射性同位素的应用方法比其他国家要广泛。

现在有大量分析研究这一问题的著作。限于篇幅有限，在这本小册子中想对这些资料作出详尽的分析是不太可能的。这里要谈的主要是关于黑色金属生产方面最重要的研究。

I 冶金操作原理

苏联利用放射性同位素研究和检验生铁和钢的生产过程最早开始于 1948 年中央黑色冶金科技研究所、莫斯科钢铁研究所和列宁格勒工艺研究所。现在几乎所有研究黑色金属的研究所都使用放射性同位素。从 1951 年国内各冶金工厂已开始使用放射性同位素进行研究工作了。其中某些研究情况已在某些书内(111, 217)作过介绍。

在利用放射性同位素冶金操作原理方面进行过很多研究。黑色冶金的研究假定分成三部分：金属、矿渣和气体之间元素的均匀分配的测定、冶金反应动力和机械的研究以及在液体金属和矿渣中的组分的转移和扩散。在上述这些情况中放射性同位素都是用作指示剂。

放射性同位素被用来研究各种物相中元素的分配。钙的氧化物是冶金矿渣的一种主要成分；钙的各种合金都用来作脱氧剂。但是关于钙在铁中的溶解度的数据暂且还没有。Фильбрук 和其他人(192)曾用 Ca^{45} 进行过以确定钙在铁中的溶解度研究的。关于钙在铁中溶解度的精确数据还没有，不过已知钙在矿渣下铁的溶解度不到 $6 \cdot 10^{-5}\%$ 。

Виклер 和 Чипман(314)曾利用磷 P^{32} 同位素来研究用矿渣使铁脱磷的作用。发现了在感应炉中冶炼条件下金属和矿渣之间的平衡需要将近 10 分钟。

为了测定在炼焦时留在焦炭中最稳固的硫化物，曾利用了放射性同位素 S^{35} 研究在炼焦产物中硫的分布。研究的结果是无论是硫化物中的硫或硫酐盐中的硫都会等量的转入焦炭中去，所以在计算炼焦煤时必须最初配料时算进去全部硫。在 Л. А. Шварцман 及其合作者的研究中利用了磷和硫的放射性同位素，研究了钢和铁用冶金矿渣脱磷和脱硫反应的热力学。

在 Котевников И. Ю. 铁的脱硫反应热力学研究等书中，提供了一系列研究磷在铁和矿渣之间分布的情况。磷的放射性同位素给予了研究成一种可以用简单的氧化系统或使用的

冶金炉渣确定铁的脱磷反应的热动力常数的新方法。根据这些资料,说明了磷在低浓度时炉渣中最后的产物是以 PO_4^{3-} 的状态而存在的,在系统 $\text{CaO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的炉渣中 P_2O_5 的浓度为 3.0% 以上时,磷是以钙磷酸盐 $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 的状态存在。下面把 PO_4^{3-} 磷离子在某些系统中生长的热和在水溶液中生成的热作一对比。从对比中可以看出,在水溶液中磷离子的稳定性大于在炉渣的溶化中的稳定性。

系 统	$\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SrO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{BaO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$	H_2O
PO_4^{3-} 离子生成的热 卡/分子	-225	-239	-234	-233	-297.6

在 И. А. Томилини 等人的研究中利用硫 S^{35} 研究铁和炉渣之间硫的分布,以及生铁和炉渣之间。В. Г. Воскобойников 也同样地采用放射性同位素 S^{35} 来研究硫化物和硫酸盐中的硫向生铁里转移的过程中的情况。作者查明在炼焦时在亚硫酸盐的硫和硫酸盐的硫活动情况相同。

А. Д. Ушаков 等(188)和 В. Г. Воскобойник(31)利用同位素 S^{35} 研究用镁的生铁脱硫时硫的状况。研究结果表明,镁在提取脱硫产物的情况下是良好的脱硫剂。

Н. Шимон 等(203)也研究了在用氧吹炼液体生铁时在金属和气体之间硫的分布情况,并查明了生铁中的硫向气相的转化对碳氧化的依靠性。在其他人的研究中(86)利用钨的同位素 W^{185} 研究了金属、矿渣和气体之间钨的分布状况,从而查明了钨的相当大的气相损耗的情况。

西德的 Колх 和 Функ(220)和苏联的 П. Н. Перчаткин 研究了马丁炉中各种熔炼产物当中硫的分布情形。在以上这两种研究中都是把放射性硫放入燃料或金属中,发现各物相之间具有硫同位素交换和在装料、熔炼时金属从废气中吸取硫的现象以及硫被烟道中和蓄热器中砌砖蓄积的现象。(151)

В. Л. Хейфец 等人(196)利用放射性同位素 Co^{60} 研究了钴在硫和炉渣之间分布的情况。他们查明钴的分配率主要决定于炉渣的硷度,硫的喷镀金属喷镀的程度以及其中镍和铜的含量。

用放射性指示剂的方法已广泛的用来研究液体金属热力常数了。液体铁中硫的热力溶液常数已经被 В. Н. Журавлевий 和 А. А. Жуховицкий (70, 71) 利用同位素 S^{35} 确定。А. П. Лю-бин 和 А. А. Гранобский (123, 124) 利用放射性和稳定同位素根据气相的分析研究了 $\text{Fe}-\text{P}$, $\text{Fe}-\text{Si}$, $\text{Fe}-\text{Ni}$, $\text{Fe}-\text{Co}$ 系统的活动。

用放射性指示剂方法的优点在很大程度上是表现在研究冶金反应的机构和动力学时,因为这种方法可以观察同位素的交换。我们将会看到,国外这种研究完成的数量将大大地少于苏联。从已出版的资料我们只看到 Ло Чинг-лан 等(264)的研究,他们是利用同位素 S^{35} 来研究用合成炉渣生铁脱硫动力学的。

И. С. Куцков 研究了金属和矿渣中间在等量的条件下铁的同位素交换的反应结构,这是利用 Fe^{59} 同位素试验的(111~114)。金属——矿渣熔炼系统中查明在冶金反应中最慢的过程是矿渣状态中质的传导。确定了铁在炉渣中的扩散系数并且研究了混合对质传导速度的影响。

某些研究人员研究了扩散的结构和动力学。在 О. А. Есин 及其工作人员的研究里查明, 硫从铁中向矿渣的转移是和铁一起进行转移的, 而动力学是用初级反应速度方程式来描写的。А. Н. Морозов 等(134) 的著作中描述了钢在电炉熔炼时扩散的动力学。作者指出从金属中在熔炼氧化中排除硫到矿渣中去用扩散动力学来表述, 而在还原时同位素的交换动力学是不同于除硫动力学的。В. В. Состин 等(172) 利用 S^{35} 确定了混和矿渣对铁的脱硫速度常数值的影响。研究的结果证明了这种方法扩散的特点。

关于金属和矿渣之间铁的同位素交换方法的扩散特点同样也为 М. М. Карнаухов 等研究的结果所证明(198, 135)。以上这些反应动力学的研究都是直接在电炉里熔炼时进行的。О. В. Травинский 等利用 S^{35} 同位素来研究生铁脱硫的动力学(185)。В. П. Елютин 等利用同位素 C^{14} 来研究铅、铜和镍氧化物用碳还原的方法。Б. В. Линчевский 等人利用 Fe^{59} 同位素研究铁的氧化物结构, Е. Н. Миролюбов 等(132) 利用同样方法研究了铁在氧化物溶液中的惰性, С. П. Шаров(199) 利用 Fe^{59} 同位素研究铁的氧化物在硫化物的熔炼中的动力学。

用放射性指示剂的方法研究原子转移过程是最有效的。苏联专家在这方面所进行的研究是相当多的。最近在外国的出版物上刊载了关于碳、钙、硅在液体矿渣中扩散研究的著作(302a)。Дердж 等研究了铁的扩散和硅酸盐的熔融物的电解(263, 299)。硅酸盐的铁的扩散系数等于 $5.8 \cdot 10^{-5}$ 厘米²/秒, 这是符合苏联研究人员所得的数据的(112)。这里测定了加入到气流转移中的矿渣铁离子的部分是 17%。

И. С. Куликов 在 1949 年开始研究铁在液体矿渣中的扩散(113)。铁在硅酸盐中的扩散系数根据铁在金属和矿渣的同位素交换动力学而定。

温度	1,350	1,400	1,450	1,500	1,550
cm ² /сек ⁵ : 10 ⁵	6.3 · 10 ⁻²	1.0	3.2	4.0	6.3

研究在金属和矿渣的熔炼物中的扩散时发现了表面扩散的一定作用。在铁的熔融物中表面扩散的发展对有高度弹性蒸汽(磷)的组分特别明显。对关于表面扩散的高速的解释有过这样的假定, 就是说由于熔体表面扩散元素的蒸发和凝结而产生表面扩散。最近研究的资料证实了这一假定。在 Е. С. Воронцев 和 О. В. Есин (30) 的研究表明硫在石墨坩埚的矿渣中的扩散主要是靠表面扩散进行的。坩埚浸湿性的使用矿渣增大, 依靠提高硫的含量和用人造钢玉代替石墨坩埚, 大大地降低表面扩散速度和扩散过程中硫的总转移中的一部分。根据这一假定就解释了铁和钙在石墨毛细管里的生铁中扩散常数的巨大意义, 这一系数是 М. М. Карнаухов 等人得出的(90)。

本评论的作者研究了混和对在液体矿渣中部分的质传导的速度, 并引导出对这一过程的某些变态的分析性的关系(113)。

Е. В. Челюцевый 等人研究了马丁炉中金属和矿渣之间铁的同位素交换动力学(198)。

А. И. Осиповый 等人利用 P^{32} 和 C^{60} 同位素研究 350-吨马丁炉中金属和矿渣的混和过程(146)。研究中查明, 当金属槽里炽烈沸腾, 金属中的质传导系数比扩散系数大 $10^5 \sim 10^6$ 倍。

此外, 放射性指示剂还用来研究熔融氧化物的混合物中离子的转移现象。在 В. И. Малкин 等人的研究中确定了在 $CaO-P_2O_5$ 的熔化物中 Ca^{2+} 的转移数和在各种硅酸盐熔化物中 Na^+ 和 K^+ 离子的转移数。查明阳离子对他们在熔化物中移动的影响。

II 冶金集合結晶体工作的研究

近几年来放射性同位素已经用于冶金集合結晶体工作的研究上。英国在 1950 年已经公布了 Войс 研究了高炉炉衬损耗的资料(307)。可是,看来国外的研究没有广泛的开展,因为关于这一问题的著作没有。竖式炉和高炉底损耗的检验在苏联已开始了,几乎与此同时国外在 И. П. Бардин 等人的领导下也开始了(6)。研究的方法主要是用在大修时把装有放射性同位素的细颈瓶放进竖式炉衬和高炉底里去。同位素一般是放置于三层中:炉的上、中、下三部。每层同位素放于炉的四面八方的炉衬中,对外壳的距离不等。在放有放射性同位素地方的对面,从高炉外面放一些计数管。所有的从计数管上发出的信号都通过对放射计装置有预先放大的操纵台。这样,就可根据计数器记下的放射强度研究被检验的高炉炉衬的状况。这样每一计数器就能记下几种细颈瓶(2~3 放于离炉壳不同距离的细颈瓶)放射的情况,炉衬中放有一个细颈瓶,而炉衬一坏,当然小瓶的排出立即就会在计数器上显示出来。

图 1 上所绘的炉底损耗图表就是根据 И. Л. Трузин 等人用这种方法所研究得来的资料制的。

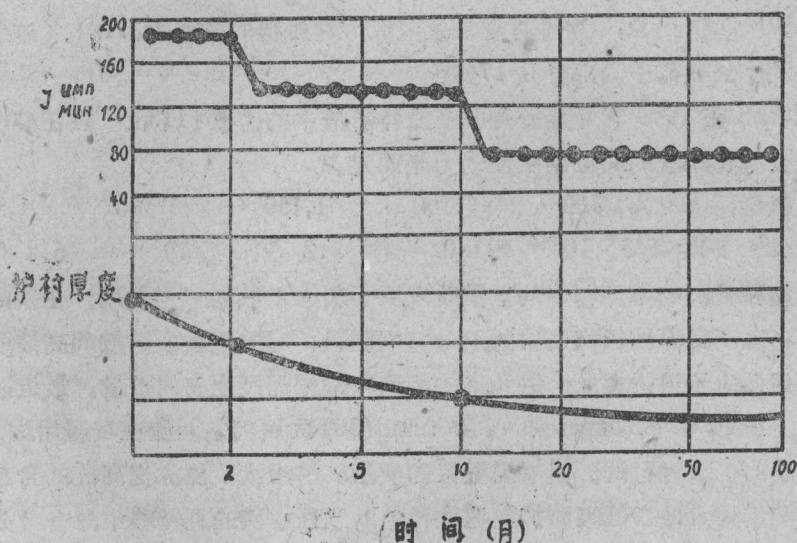
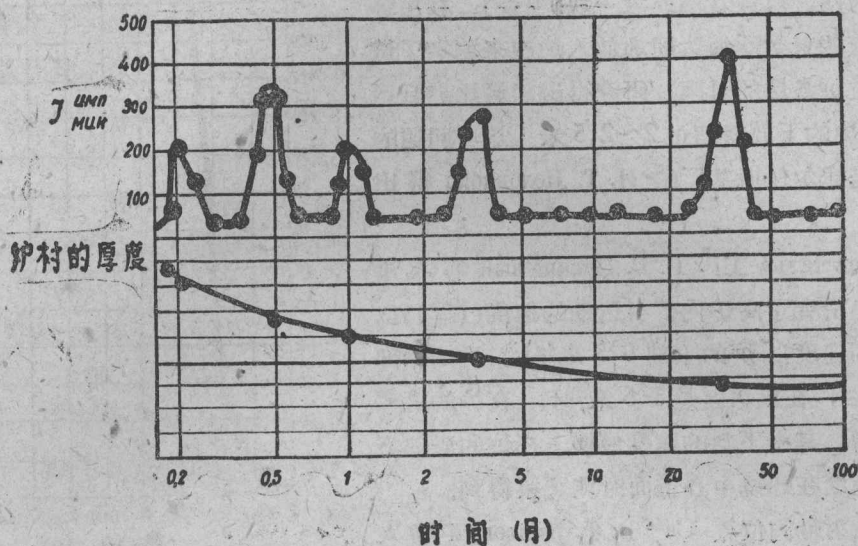


图 1 高爐爐襯里的損耗

为了研究高炉炉底的损耗,装有放射性同位素的细颈瓶放于上上下下各排砖内。这时是使用各种不同同位素:在炉衬的上部,研究表明衬坏的较快,所以要放寿命较短的同位素(Fe^{59} , P^{32} , Ca^{45} , Ag^{110}),而在下面一排排的砖里要放寿命较长的同位素 Co^{60} 。炉衬的毁坏可根据生铁和矿渣里的放射现象判断出。根据在很多苏联高炉上的研究查明,上排炉衬在高炉工作一个月內要坏(图 2)。接着炉衬坏的速度就慢下来了。例如在 И. П. Бардин 等人的报告中(6)指出,库茨涅茨冶金联合工厂的一个高炉炉衬的第七排从鼓风算起工作了 457 昼夜才坏。这样,利用同位素研究得出在高炉里工作初期已经形成了一个相当大的坑,其中充满了液体生铁。正如在 А. М. Скребцов 等人的著作里指出的(168),在这一坑里生铁的混和是极慢的。利用装到高炉里的放射性磷通过炉的流入器就确定了炉底里坑的容积。此外并查出此坑的容

量和生铁中硅的含量之间的关系。

高炉炉衬和炉的毁坏同样在马格尼托戈尔斯克联合工厂及捷尔任斯基工厂里也进行过研究(83, 151a)。这些研究的结果基本上是符合上面所说的情况的。国外关于炉底生铁的混和及坑的容积 Лурц 和 Вебер(265)利用 P^{32} 也进行过研究。



高炉炉底衬里的损耗

图 2

高炉底下排耗损的检验除了测量生铁试管的放射性外，可以直接测量在炉底下排里放射源的放射性。在这种情况下计数器就放到在炉底下炉基里冒热蒸汽的钻孔里(5)。不过，由于生铁在炉里混和得很缓慢，所以这种方法不大可靠。

应该指出，在利用放射性同位素于生产研究之中时，必须注意金属被沾染上放射性同位素。另外从预防用这种金属制造的器件的辐射作用这一角度上看，以及用它来制造无线电技术设备辐射计和光学仪器这方面看，这都是很重要的。

气体通过高炉的时间是 Бо́йс (308) 利用 Rn^{222} 首先确定的。

装有氡的细颈瓶放进高炉的风口里，风一吹这样氡就和吹进的风流一道吹进高炉。在炉颈上把气体试管抓住，就好测量它的放射性了。试验证明实际上同时进入到炉里的氡而到达炉的上部却不同时(炉的四周经 2~4 秒，炉的中央是 4~8 秒)。利用氡测量烧结装置里气体的数量，这是在向高炉内鼓气时和向蓄热室(马丁炉)里供气时进行的(309)。这说明，如果其他的方法不能有好的效果的话，放射性同位素的方法可以足够准确的测量气体的数量。

Бо́йс 的方法在测量时间的准确度方面(示波器上的记录)为 Ф. Ф. Колесановый 所改善和测量气量试管的放射性(有环线示波器的全套电离室)(97, 106)。实验室的研究确定了路线的真正长度在各种流速时对材料层高度的关系。所以 Ф. Ф. Колесан 不仅确定了气体通过高炉的时间，同时确定了高炉中气体的真正速度。从风口到熔化物之间地区材料在熔化，透气率最不好，气体的速度最大，达 32~64 米/秒。在固体材料的地区气体的速度是 22~24

米/秒。

图3描述了测量气体通过高炉的时间的一个试验。

И. П. Бардин 等人(5, 6)利用放射性同位素进行了一系列高炉下料速度的研究。放射性同位素放入一块焦炭内、石灰石内或者一块矿石内, 利用装入水冷却管的计数器短时间地放入炉内来测定了试验焦炭通过炉各层的时间。研究得出焦炭比矿石运动的快, 到炉的下面将超过2~2.5米。这一问题的有效数据是捷尔任斯基厂的 И. Т. Половченко 得出的。

在《Азовсталь》工厂 Г. Г. Пукашевич 等人进行的研究里研究了高炉内矿石运动的速度(122)。以下是最大的速度: 炉的上部 9.5 米/时, 炉的中部 4 米/时左右, 在风口区是 3.6 米/时。在炉的底部有炉料环圈, 其中下料的速度最慢。在炉的底部下料的 最大速度在燃烧中心上面时能观察得到。

利用放射性同位素 Ca^{45} В. Ф. Князевый 等人确定了在砖炉中材料停留的时间。长 8 米, 内直径 102 厘米的炉在每时 30 转的速度时, 在出口处最大的放射性是要过 7 个小时以后。

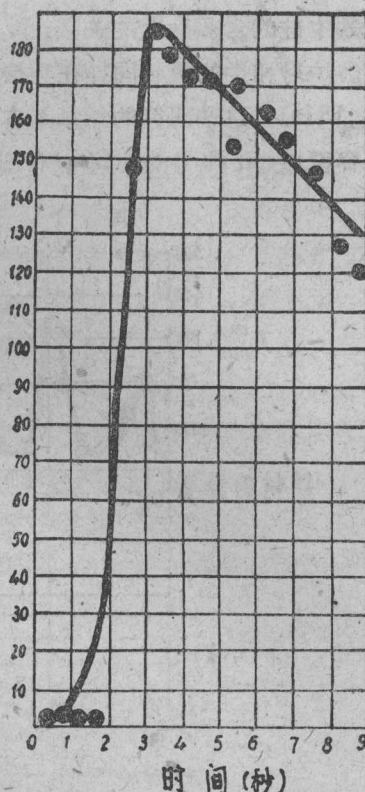


图3 高炉气体试管里把氢放进高炉风口后氢的浓度测量情况

III 冶金过程的检验

使用放射性同位素来研究在我们工厂里工业条件下炼钢过程最近几年来愈益广泛。完成了阐明在大功率马丁炉里废料、炉渣、磷的氧化物的研究以及金属的混合速度, 合金加入物的熔化和分配时间的研究。在 В. Ф. Агапов 等人的研究中研究了炉料和石灰石对马克尼托格尔斯克冶金工厂的 380 吨马丁炉里熔炼的时间。查明非金属炉料熔化的平均速度是 220 毫米/小时。如果把石灰石和矿石分成若干层和把石灰石放的深些熔化的时间会缩短。

确定废料在马丁炉中熔化速度的试验在《Азовсталь》冶炼厂、斯大林斯克冶金厂(147)和契利瓦宾斯克冶金厂(136)为此将放射性同位素放入生铁, 然后根据生铁的稀释情况用熔化的废料来确定熔化的速度。为了说明废料熔化的速度, 求出这样方程式 $d \times 1dt = K(100 - x)^{2/3}$, 此处 K ——熔化速度常数, 而 x ——熔化了了的废料的数量。从方程式中指出废料熔化速度和分离面积成比例。查明, 速度常数随热载荷增大成直线上升, 随生铁注入期间时间的缩小和碳的氧化速度的缩小而增大。与这相近的结论在 Челябинск 冶金工厂也得出(136), 这里除把 Co^{60} 放进生铁, 倒入炉底的铁矿石之外还放入放射性磷, 根据矿渣中磷的放射性确定生铁和矿石相互作用的最后一瞬间。这一研究查明了熔化过程中废料的熔化脱磷和碳的氧化之间的相互关系。

在冶炼磷生铁中, 矿渣的形成和磷的氧化动力学曾在《Азовсталь》和斯大林冶金工厂进行

过研究(167, 168, 201)。研究矿渣的形成是把鈣的放射性同位素放入装在炉中的石灰石里。发现鈣的氧化物的溶解是用和废料熔化方程式同一类型的方程式来说明的。鈣的氧化物的溶解系数是取决于象废料熔化速度系数这样的因素。矿渣形成速度系数的增大是和金属在熔化中较快的脱硫过程相一致的。

在《Азовсталь》厂的条件下高磷生铁的冶炼中利用放射性同位素 P^{32} 、 Co^{60} 和 Ca^{45} 研究了散粒金属和过去熔炼的矿渣装炉的顺序对磷氧化的影响(168, 120, 167)。结果发现当大部分矿石装在石灰石的上面时磷的氧化就加快, 这是因为矿石比石灰石先进入反应甚至于在石灰石放在上面时也是如此。过去熔炼的矿渣数量的扩大以及在熔化初期漂浮的部分都提高脱硫速度。剩下的矿渣对脱硫的影响在高碳钢里比在低碳钢里更明显的说明。此外, 有过去熔炼的剩余矿渣炉的工作时来研究马丁炉底的损耗, 利用装有 P^{32} 的小玻璃管在装炉时放入炉底(120)。表明放射性同位素在这种情况下采用能够比在一般车间的检查检查得更为准确。

А. И. Осипов 等人利用放射性同位素 Co^{60} 和 P^{32} 研究了金属和矿渣在 380 吨马丁炉中的混和情况。发现, 在炉液面上有循环金属流和质子传递系数 5~6 级超过扩散系数值。合金加入剂在马丁炉中炼钢中的熔化速度库茨涅茨冶金联合工厂的 Н. Г. Богданова 等人曾作过研究(83)。放射性同位素铬—— Cr^{51} 放入铬铁焦炭内部, 根据在金属中放射性的情况判断它熔化的时间。结果发现 10~20 千克的焦炭熔化了 10 分钟左右, 而当时合金元素在还原矿液面上的平均熔化需时 40~50 分。在倒入浇桶时金属成分进行均匀调整。基于这些研究可以得出加入合金加入剂后钢在炉内保持最合适的时间的结论。

使用放射性同位素磷研究了磷在熔炼过程中的快速分析法。А. И. Осипов, И. Ю. Кожевников 等人(148)提出一种分析 P_2O_5 的含量矿渣快速分析法来查明最高磷含量的矿渣流出的时刻。这时的矿渣是生产肥料的最贵重的原料。每吨生铁放射性磷耗量测量方法的改善缩小到 0.04~0.05 мкюри/т。测定时间为 4~5 分钟。

Эдсхард, Кньюпель 和 Копинк(227)研究成一种磷化铁碱性炉冶炼磷的金属快速分析法。把磷 P^{32} 加到生铁中去并用化学方法确定生铁中磷的含量。 P^{32} 的耗量是 2 мкюри/т 生铁。除去本底的测量是按反符号线路进行的。分析的时间为 4 分钟。

放射性同位素正在成功地用在研究浇铸的过程中。例如 Н. Л. Шуткин(207)研究了在浇铸钢时气泡的影响。在八锭底板注满钢 Y10 时浇铸后 125 秒, 钢锭浇铸好, 就在中铸管里放进 Fe^{59} , 然后再添加金属需时 140 秒。把其中一个钢锭沿轴切开并放射摄影。切面表明补加的金属均匀地分布在整个层带。由于在浇铸时有间隙, 因此可以把收缩气孔送上去。

С. М. Гнучев и Бузлев(36)利用 Ca^{45} 研究非金属的夹杂物在浇铸钢时的上部 and 流钢槽内的漂净条件。试验表明用下铸法比用浇铸法的上部得到的金属要清洁。Д. С. Герликов, Л. Г. Гольдштейн 和 А. М. Офенгендин(32)利用 Ca^{45} 查明了钢锭夹杂非金属夹杂物可能是由于在浇铸沸腾钢时钢锭模里金属表面形成的熔渣的缘故。

А. М. Самаринский 等人首次研究了钢夹杂非金属杂物的情况。放射性同位素 Ca^{45} 作为鈣的氧化物装入菱镁矿坩埚的炉衬中矿渣中和在制造盛钢桶衬砖及下铸耐火砖时放入耐火材料中。用金属电溶解法分离出非金属夹杂物并测量其放射性。试验表明下铸耐火砖和浇桶衬可以作为留在制成钢里的非金属杂质的来源, 上述来源产生的夹杂物能达 20% (43)。不过

接下去的研究〔166〕非金属夹杂物得到的较少($\approx 5\%$)。这一研究中查明了非金属夹杂物的数量和耐火砖的质量(熟料、高铝砖和高岭土耐火材料),提高耐火砖的质量就降低非金属夹杂物成分。

在 Е. И. Малиновский 和 А. Н. Морозовый〔130〕在 Челябин 冶金厂进行的研究中没有发现钢里夹杂的有从耐火材料中产生的非金属夹杂物。看来,这是用耐火材料的质量和浇铸的条件来说明的。此外,这一工作中研究了在出钢和浇铸时钢的二次氧化对钢夹杂非金属物的影响。这使用的是放射性同位素 Zr^{95} 和 Ta^{182} , 把它们放进电炉出钢前不久的脱氧很好的金属中。查明,在放出钢水时被氧化的锆完全分离,而在浇铸和钢结晶时氧化的锆则有相当大的数量留在钢内并使钢夹杂了一些杂物。不取决于钽氧化时间的几乎全部氧化钽从金属中离开。

利用放射性同位素进行了一系列关于金属结晶的过程的研究。Л. М. Ефимов, М. Г. Бульский 等人利用同位素 P^{32} 和 S^{35} 研究了沸腾钢钢锭结晶的速度。钢锭重 6.3~7 吨。盛钢槽注满后隔 5~6 分钟或 12~13 分钟立即把放射性补加物分两三次放进。分裂和饱出一部分钢锭并把它放射摄影在 X-射线底片上,而另一部分进行轧制并从试样上进行放射摄影。钢锭和轧制试样的放射照相照片在大部分的情况下都能足够清楚地查明在放入放射性同位素(图 4)时液相和固相之间的界限。研究的结果确定在沸腾钢结晶时没发现晶体倾斜,并且金属垂直旋转没有触动钢锭底部。此外,查明一锭钢锭各层里结晶速度在每层都各有不同,硬金属外壳愈厚,钢和钢锭模四壁接触的时间愈长。在已进行的研究的基础上引导出固体壳的厚度及钢和各种钢锭水平的钢锭模四壁接触时间之间的数学关系。

В. М. Тареев 和 В. А. Дудкин〔177〕利用同位素 P^{32} , S^{35} , Cr^{51} 研究了重 1.2 吨锻造钢锭和重 1.7 吨的钢锭的结晶。放射性同位素在这一研究上的应用可以查明在凝固时液体金属的结晶和混合的一系列规律。发现注入后随着时间的一些循环液体金属在钢锭底部混和会逐渐停止。在 Магнит 冶金厂在研究脱氧钢钢锭结晶时也获得类似的结论。〔83〕,一些脱氧钢牌号钢锭的结晶同样在 Челябин 冶金厂也曾进行过研究。〔98〕由于加入了放射性同位素 Fe^5 这一工作中的结晶速度同样为倒出残存的液体金属法所确定。查明,柱状晶体生长一结束,在侧刃面上就产生深 30~50 毫米的双相区。

В. М. Тареев 和 Ю. Д. Смирнов〔178〕利用同位素 P^{32} , S^{35} , Ce^{141} 和 W^{185} 研究了添加稀土元素 La 和 Ce 及 Zr 对在钢结晶时混和物(C, S, P)分布的影响。查明,添加上述元素减弱(0.05~0.10%)或者实际上防止(0.15~0.20%)混和物在钢锭中的偏析并大大提高钢在叶状态时的机械性能。查明稍溶硫化物的一部分从液体金属中分离并浮起。

浇铸条件对管钢质量的影响,在 К. Г. 特鲁宾领导下,由莫斯科钢铁研究所一些工作人



图 4 钢锭的低倍放射性照相法(P^{32})

员开始研究 [62]。在这一工作中, 利用放射性同位素银¹¹⁰所发现的起铃的高度废品率是由锭体内氧化薄膜的重皮引起的。开始浇铸前把木框放在锭模里面, 这样在浇铸时就可以防止金属氧化, 因而使起铃废品绝迹, 并大大降低具有其他缺陷的成品管钢的废品。

在另外的检验中 (103), 同位素铁⁵⁹曾被应用来检查结晶过程中盛钢水的锭模的振动和沸腾钢锭的质量。经过测定, 在大速度浇铸的情况下, 4~8 分钟之间的振动 (振幅为 1 毫米左右, 频率为每分钟 1,500 振荡), 可以获得蜂窝气泡成层深度为 25~30 毫米的钢锭。

放射性同位素被应用在研究金属连续浇铸过程中。在连续铸锭的钢锭中, 放入装有几个安瓿同位素磷³²的柱杆 [162, 163]。为了使圆窝底部固定, 注入 10 公斤熔化的铅。将钢锭切开, 并将模板进行射线摄影。经过测定, 这种钢号和冷却条件的液相区深度与浇铸的线速度成正比。

普特曼 (283) 在测定连续浇铸铝时的液相区, 采用另一种方法。圆窝底部放入普通金子 (0.0048%), 然后将锭块切开, 放在电抗器内照射 (四昼夜)。试样经过照射后, 保存数日, 使半衰期短促的同位素分解, 然后进行射线摄影。

为了控制和自动调节连续浇铸过程中钢水的水平, Л. К. 塔托钦柯和他的同事 (180) 制造了几种仪器, 放射性同位素 (钴⁶⁰) 在其中被应用来作为辐射源。

必须注意不宜应用放射性同位素的一种情况。Л. П. 戈尔特什坦因和 А. И. 奥芬根登 (斯大林冶金厂) 建议采用放射性同位素 (钴⁶⁰和铍¹⁹²) 作为测定浇桶中钢重量的方法。但是这个方法不能认为充分准确。在金属中有系统地加入放射性同位素, 特别是那些半衰期久的同位素, 将使大量金属沾染上放射性。

焊接的物理化学过程在很大程度上与钢的生产过程类似, 因此审视一下放射性同位素在焊接中的应用是适宜的。放射性同位素在焊接中被应用来研究检查焊接接头质量的过程。在乌尔塔因的作品中 (304), 应用同位素钨¹⁸⁵来研究熔敷金属与电弧焊接时保护介质中的气体之间焊条中钨的分布。В. А. 莫甫昌和 Л. А. 波兹德涅克 (133) 应用硫³⁵和磷³²的射线照相术, 研究了取决于一系列技术操作因素的焊缝中硫的重新分配。已经查明, 硫和磷的结晶体内不均匀性, 在焊缝中要比缓慢冷却的锭块中少得颇多。焊缝冷却速度的增加将减少不均匀性。不锈钢内镍和碳集中的提高将稍许增大结晶体内的不均匀性, 而中碳钢内含锰量的提高将减少硫的偏析。

为了确定供焊接不锈钢之用焊条中最适宜的含铬量, В. И. 布鲁克 (23) 应用同位素铬⁵¹, 检验了铬对原金属, 型心和涂层的焊缝中的情况分开加入, 确定在焊条涂料成分中必须加入 8~9% 的金属铬。

Е. М. 库兹马克和 И. И. 卡尔玛齐诺夫 (109) 应用同位素硫³⁵和碳¹⁴, 研究了双层钢材焊缝中扩散和拌合的过程。在自动焊接中, 正如检验所示, 焊缝成分的均匀基本上依赖于拌合过程。涂层耐蚀性的降低是碳重新分配的结果。

А. И. 维特金 (29) 采用同位素铁⁵⁹和锡¹¹³来研究热镀锡过程。

IV 金属和合金中元素的分布和偏析

放射性同位素的优点明显地表现在使用射线照相术研究金属和合金中杂质的分布上面。拍摄在 X-光 或特种照相材料上的显微试片的射线照相印象, 可以同时获得试样全部面积上

所研究的元素分布图。检验金属和合金中杂质分布的射线照相术在国外有着广泛的应用。应用射线照相术研究矿石,曾由古德曼及其同事(236, 237)作过述评。

尚在 1942 年,纳尔逊和沙乌普(278, 296)曾发表过应用放射性磷来研究钢锭中气泡和砂眼的射线照相术的资料(同时见 158, 195)。应用射线照相术研究冶金过程和合金的述评见库恩(254), 华西谢克(306), 梅西农和琼凯尔司(272)以及别人(210)的论文。射线照相检验法和射线照相的材料等问题阐明在伊戈达(82), 威廉姆斯(317), 楚蒲尔(318), 韦勃(316), 伐恩拉特(311, 312), 舍尔曼(294)和别人(116, 215, 219, 224, 225, 232, 260, 267, 274, 279, 284)的作品中。

应用射线照相术研究钢中磷和砷的枝状偏析(255, 281), 铸件中铈的偏析(253), 高纯度铝(277)和铝合金(259, 295)中锌和钎杂质的偏析, 铝铜合金(287)中的界限扩散, 青铜(315)中杂质的分布, 不锈钢 18-8 中铅(228, 229)和铬(300)的分布, 扁球形石墨(243)的形成和生长, 以及一系其他过程(211, 213, 222, 282, 286, 313)。

近年来发表了拟定具有高度鉴别率的射线照相术的报告(38, 214, 302)。1957 年, 马萨诸塞大学 X. Д. 果姆倍格教授, 在其论文中报导具有高度鉴别率的新射线照相术, 这种照相术利用极薄的银片(数十分之几微米)和这些薄片在暗箱内经射线摄影过的试样的照射, 暗箱内造成溴蒸汽的一定压力。银层上涂盖极薄的绝缘层。经由 β -微粒通过的银层点上, 银与溴发生反应。普通射线照相术可以区别尺寸不小于 1 微米(放大 1,000)的区域, 新方法却可以获得达到 10,000 倍的放大率。这种方法改善后, 放大率大约可以提高到电子显微镜的能力, 这就不但在晶粒的体积上, 而且在具有一定厚度的晶粒之间的界限上, 在研究杂质分布方面, 为射线照相术开辟了更广阔的前途。

苏联研究人员曾应用放射性同位素研究杂质的偏析和分布。应用同位素硫³⁵、磷³²和钨¹⁸⁵对依赖冷却速度的 18XHBA 型钢的硫、磷和钨的偏析是由 И.Е. 鲍洛托夫等人研究的(18)。C. C. 诺塞列娃和 A. M. 波里亚柯娃(145), 还有 M. A. 斯杜德尼茨和 И.И. 米尔金(175)也研究了钢过热时硫的重新分配以及硫在岩石状断口形成中的作用。确定了在高于某个临界温度的过热情况下, 精选晶粒间界的元素的高度活动性, 作者(175)把临界温度与含硫共晶体的熔解结合起来。

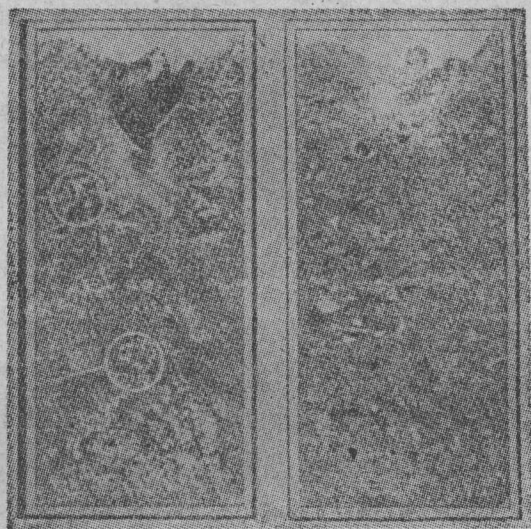
其他一些作者(104, 121)在硫在钢中的分布问题上作了一系列研究。使用普通的金相分析不能测定在高频率淬火后碳在钢中分布的不均匀性。И.Н. 基亭, С.Н. 克留柯夫和 Е.К. 扎哈罗夫(91)应用同位素碳¹⁴证明, 高频率淬火即使用高周波电流把钢加热到 1,350° 温度左右, 也不提供碳在钢的结构分量中的充分均匀。A. C. 扎甫雅洛夫和 B. И. 布鲁克(77)研究了在热处理时低浓度碳(0.03~0.05)的情况下, 与镍、铬、锰构成合金钢里碳的动态特点。

И.И. 格鲁秦及其同事(27), 还有 И. Е. 鲍洛托夫和 М.К. 戈尔特什坦因(19), 研究了退火时钢里面铬的重新分配。在这里, 从上述作品中, 前者说明了使用电解的溶解作用从合金中析出含铬碳化物相, 后者说明了应用射线照相术。证明铬在碳化物残渣中的浓度随着时间和回火温度的增加而提高。

C. T. 基什金及其同事(16, 17, 92)研究了使用镍和铁的合金的不均匀性。M. A. 斯杜德尼茨(176)研究了磷³²、硫³⁵、钨¹⁸⁵、碳¹⁴、钼⁹⁰在 18 XMIOA 型钢中的分布。A. A. 布加依, B. H. 华西里夫斯卡娅等人(24)在研究锆中铁、锡和铈等杂质的偏析的同时, 确定了他们的

低溶度和沿着组合界限(По Границам Блоков)的沉淀。

М. Е. 德里茨及其同事(61)研究了快速和迟缓结晶时镁合金中钙杂质的分布。在图 5 上所示的钙⁴⁵的应用,可以弄明这一合金的一系列结构特点。В. П. 叶留亭和 А. К. 纳坦松(65)应用同位素钴来测定各种不同拌合方法下粉末材料的拌合程度。



а——目見射線照相術(鈣⁴⁵) б——目見組織

图 5 镁合金中钙的分布

V 金属和合金升华的研究

可以测定对金属物理学很重要的常数的。金属蒸发和合金成分的研究,应用放射性指示器法和质谱测定法是最有效率的。应用放射性同位素,并同时提高某种研究蒸发方法的灵敏度,就可以拟定一系列根据同位素交换速度研究的新方法[72, 79, 80, 142, 143]。在应用同位素时,А. П. 留皮草夫和 А. А. 格兰诺夫斯卡娅(40, 41, 42)在兰格缪尔方法中——敞开表面的蒸发——测定了溶解在铁中的磷、硫和铬、以及铅银合金的升华蒸发度和热量。舍德耳和布里契纳耳(268, 292, 293)应用银——硅系和银——金系中的银¹⁵⁰测定银蒸汽压力时,采用经过校准孔的蒸汽流出法。Ю. В. 柯尔涅夫(100)应用这个方法来估计依赖于含碳量和钴升华热量的铁原子键的能量变化[101]。

但这些方法在合金中一种成分的挥发性大大地超过其他一些成分的挥发性的情况下,应用范围就不广。成分的蒸发将导致其表面贫化,而不可能获得关于合金规定成分的资料。同位素交换方法就没有这样一些缺点。上述方法的蒸汽压,是从在封闭空间中两个贴对排列的,同样化学成分的试样之间,示踪成分同位素交换的动态中测量的。А. Н. 涅斯米扬诺夫及其同事(142, 143)和 А. А. 茹霍维茨基及其同事(72)制定了同一尺寸的两个试样之间同位素交换法的几个方案。Л. И. 伊凡诺夫, И. С. 古利柯夫和 М. П. 玛特凡耶娃(79, 80)拟定了不相等试样法的方案,可以使试验开始时未经放射过的试样中示踪成分(Меченый Компонент)的回流减小到最低度。所拟定的方法是用来检验铁——铬,铁——钼和铁——铬——钼系。

除了用放射性同位素测量蒸汽压之外,还应用稳定同位素。质谱测定计被用来作为记录装置。这里可以测定蒸发微粒的形状,并同时测量合金若干成分的蒸汽压。E.3. 文塔依金, И.И. 格鲁秦和 С.Н. 费陀罗夫(28, 44), 还有 Ю.В. 柯尔涅夫和 E.3. 文塔依金(102), 应用质谱测定法来测量镉, 锌和银的升华热量。A.И. 留皮莫夫和 A.A. 格兰诺夫斯卡娅(124)研究了铁——镍和铁——钴系。

E.A. 凡特伦柯, Н.И. 奇耶夫和 A.И. 奥列索娃(26)应用同位素 ^{75}Se 和 ^{65}Zn 研究了铜生产时硒和锌的蒸发过程。M.И. 斯米尔诺夫和 Г.А. 皮培宁娜(169)应用同位素 ^{124}Sn 用真空蒸馏法来研究铈的精制。И.С. 巴拉特尼克和 Г.Н. 柯伐列夫(150)用同位素 ^{35}S 研究可变成分的银——硫, 锡——硫和铅——硫合金, 这些合金是用同时凝结化学纯净成分的蒸汽方法获得的(凡克斯莱尔法)。所获得的资料可以用限制起铃区的准稳定线来补充上述系统的状态图。

VI 固体中自扩散和扩散的研究

不采用示踪原子方法来直接研究自扩散过程是非常困难的。我们既可以采用放射性的, 也可以采用稳定的同位素来当作示踪原子。目前, 稳定同位素还没有广泛采用。天然放射性同位素的采用带有局限的性质。例如, 海凡希和瑞茨(242)在 1929 年应用同位素铅来测定这一元素的自扩散系数。不论在我国, 也不论在国外, 大量检验是从放射性同位素出现后进行的。在国外著作中, 对这一问题的研究, 有这样一些述评(154, 210, 223, 230, 238, 245, 247, 252, 256, 273)。在许多文章中, 叙述了检验方法和应用放射性同位素测定自扩散和扩散常数的计算等问题(234, 235, 258, 301, 305)。大量检验应用于银、金及其合金的自扩散(246, 248, 258, 269, 291)。应用放射性同位素研究了碳(231), 铁(212, 262), 钴(290), 铜(261, 297), 锌(295, 297), 铅(280)的自扩散; 固态溶液的表面扩散(298); 耐热材料中成分的扩散(250)以及回旋加速器的冲击对银的自扩散的影响(249)。应用放射性同位素铁研究了铁在氧化铁中的自扩散(244)。

苏联的学者们广泛地应用放射性同位素研究金属和合金中的扩散过程。还在 1937 年, A.M. 扎格鲁勃斯基应用人工放射性同位素金来测定这个元素的自扩散常数(78)。扩散的研究引用在著作(111, 117, 144)中。大量作品提供于建立测定扩散常数的方法上面。这主要是 A.A. 茹霍维茨基及其同事(73, 74, 75, 76, 108), И.И. 格鲁秦及其同事(46, 47), B.M. 戈利柯夫, B.T. 鲍利索夫(20, 21, 37)等人(25, 125, 170)的著作。

И.И. 格鲁秦及其同事(47, 48, 49)在一系列作品中研究了碳在铁合金中的自扩散。一些研究从事于测定铁的自扩散常数(37, 50)和加入碳(51, 52, 53), 锰(54), 铬(55)以及其他(56, 164)等等的作用。研究了铁在铁镍合金中的自扩散(140, 141), 铁在镍钛, 镍铬 钨 铝 钛合金中的扩散(204), 铁在硒中的扩散(110), 以及钴, 铬和钨在铁中的扩散(57)。И.И. 格鲁秦及其同事研究了碳在镍及其合金中的扩散(600)和铬在以镍为基体的合金中的扩散(606)。

一系列研究从事于钴(33, 34, 58, 59)在合金中的自扩散和扩散; 银(173, 193, 194, 209), 钼(60), 铈(35, 139)和铈(22)的自扩散。Ю.Ф. 巴皮柯娃和 И.И. 格鲁秦(4)研究了碳在电场影响下的扩散以后, 测定碳原子在铁素体内大约具有 4 个阳电荷, 而镍原子具有 2 个。镍和硅对铁的加入本质上降低了碳的电离度。

放射性同位素有时候应用于研究组份在固态氧化物(7, 81, 153, 155, 202), 卤化物(137)和石墨中(64)的自扩散和扩散。

VII 金属和冶金过程质量的检查

作为示踪原子的放射性同位素在研究金属和冶金过程中有着广泛的应用。而放射性辐射在冶金厂实践上直接应用于发现铸件和焊缝中的缺陷, 测量轧制制品的厚度和金属上的涂层, 钢的标志, 快速分析等等。

冶金工业在应用放射性辐射的问题上, 国外著作中有着大量述评(107, 208, 217, 218, 221, 239, 240, 241, 285, 288, 289, 310), 其中有许多篇专门论文(217, 240, 241)。在我国著作中, 有着两篇关于金属的 γ -探伤法(160, 181), 而没有一篇是系统地阐明作为辐射源的同位素的应用的。在Г.Г. 约丹及其同事(84), Н.Н. 舒米洛甫斯基和Л.В. 梅耳采尔(205)的报告中, 仅仅简略地叙述了在苏联进行的工作。

放射性辐射最广泛地应用在发现铸件和焊缝中的内部缺陷。应用 γ -辐射同位素于透视较X-射线优越。电源小, 比较便宜, 不需要电力引线。这就便于在交通困难的地点和田野中加以应用。此外, 坚固的 γ -辐射同位素比较应用普通X-射线装置, 可以透视厚度远较巨大的制品。

同位素钴⁶⁰、铍¹⁹²、铯¹⁷⁰、铯¹³⁷等等被用来作为辐射源。英国在一年中所生产的辐射源数目, 根据卡梅隆的资料(218), 引用于下表。

辐射源	一年的数量				功率, 镭的克当量			
	1952	1953	1954	1955	1952	1953	1954	1955
铯 ¹⁹²	650	901	1,925	1,361	810	2,099	3,489	4,850
钴 ⁶⁰	231	228	201	414	110	185	213	600
铯 ¹⁷⁰	0	28	43	43	0	10	9	7

在我国, 主要是应用钴⁶⁰作为辐射源供 γ -探伤法之用。但是近年来也应用其他同位素: 铍¹⁹²、铯¹⁷⁰和铯¹³⁷。检查焊缝和铸件的方法叙述在一系列论文中(233, 257, 266, 270, 271, 303)。在凯尔尼和白利南的论文中(251), 探讨了 γ -探伤法的装置。近年来, 透视目的的新方向是依靠放射性同位素 β -辐射的X-射线的进一步采用(157)。在苏联, 许多冶金厂采用焊缝和铸件的 γ -探伤法。我们的工业制造了二种型式金属 γ -探伤法装置, ГYII-Co-50型(5)和ГYII-Co-0.5型, 可以透视厚度在300毫米以下的钢制品(ГYII-Co-50装置——镭的50克当量)(155)。携带式容器应用于透视焊缝。钴⁶⁰, 铍¹⁹², 铯¹⁵²——铯¹⁵⁴, 铯¹³⁷和铯¹⁷⁰被采用作为辐射源。除了摄影法以外, 制成并开始应用闪光记录法(3, 182, 183, 189, 190, 191)。闪光探伤器的应用, 可以提高记录方法的灵敏度, 减少透视巨大厚度的电源量, 并提高 γ -探伤法的生产率。А.А. 阿尔汉格尔斯基和Г.Д. 拉蒂舍夫(3)指出, 应用闪光法来探查钢制品厚度为100毫米、对光线锥的移动速度为10~30厘米/分钟的缺陷时, 可以发现尺寸在0.2毫米以下的缺陷。

И.Г. 法基多夫及其同事(189, 190, 191)设计了用 γ -射线和在电子回旋加速器上取得的

辐射来透视的缺陷记录装置。Л.К. 塔托钦柯及其同事 (182, 183) 制成带有闪光计数器的 γ -探伤器来对直径 560~720 毫米的焊管作流水检查。

比钴⁶⁰更为柔软的铍¹⁹²，硒⁷⁵，铈¹⁵²——铈¹⁵⁴，铈¹³⁷和铟¹⁷⁰的应用，可以提高 γ -探伤法的灵敏度，并在透视厚度不大的钢制品时提高生产率达 3~4 倍 (138)。放射性同位素铈¹³⁷，铈¹⁹² 和硒⁷⁵ 可以增加焊接接头处缺陷清晰度达 1.5~2 倍 (69)。应用上述同位素的 γ -探伤法的灵敏度与 X-射线探伤法非常接近 (187)。为了透视厚度 1~15 毫米的薄壁钢制品或者单位面积重量相等的其他金属，制成了应用同位素铟¹⁷⁰ 的装置 ($E_{\gamma} = 84$ 千电子伏) (161)。

在冶金工业中 (尤其在国外) 同样广泛采用放射性同位素辐射来测量制品厚度 (107, 156, 208, 218)。制品厚度的测量是根据放射性辐射的吸收和漫射。放射性同位素测厚计应用于不同的工业范围。放射性同位素仪器除了方便和准确以外，其巨大优点在于测量时可以毋须接触对象。应用这些仪器，可以实现生产过程的自动化。艾培索尔德 (208) 指出，在美国，应用放射性同位素测量厚度的仪器，被利用在检查各种金属皮生产的数百种装置上。这里，由于节省材料费用，减少废品和提高生产率而获得极大节约。带有 β -辐射同位素的仪器应用于测量薄的制品。在英国，制成了根据反射 γ -辐射原理操作的仪器来测量厚度在 12 毫米以下的条钢 (218)。闪光计数器用来当作 γ -辐射记录器。不久前制成了根据同一原理的仪器，设有脉冲分析器，其中应用极少量的辐射源 (20 微米居里左右) (218)。由于辐射强度小，辐射源不需要保护装置。直接和反射的 γ 量子进到闪烁器 (Сцинтиллятор) 和光电倍增器上。接着脉冲进到脉冲分析器上，脉冲分析器只析出反射的 γ -量子。被反射的量子数量是反射材料厚度的函数。这种仪器轻便而易于携带。在测量从 2.5 到 18 毫米的厚度时，准确度为 $\pm 4\%$ 。源泉为 1 米居里 (Мкюри) 铯⁹⁰ + 钷⁹⁰ 以及附有可塑的精致闪光器的仪器是用来测量内径从 12.5 到 38 毫米、壁的厚度在 0.45 毫米以下的钢管厚度。

制成了输送速度为 90 米/分钟、按重量拣选薄钢板的仪器。这种仪器具有钢板单位面积的灵敏度为 1% 左右。现在正改建这种仪器，使其挑选钢板的输送速度为 600 米/分钟。

我国的研究所和实验室制造了测量厚度的新颖机器 (8, 9, 10, 11, 66, 165)。供测量冷轧钢带厚度的首批仪器还是在 1953 年试制的，结果得到巨大的经济上的效率 (8)。1954~1955 年设计并试制了测量铁上面镀锡层厚度的仪器 (11, 66)。目前进行着制造测量热轧钢材厚度的仪器。

供测量制品厚度的同位素也可应用于测量液相或悬浮体的密度。泥泵装置操作时用来控制泥浆的 γ -泥浆机 (Пульпометр) (31, 88)，可以有成效地用来测量泥浆中悬浮物成分。最近制成了测量液相密度的新式仪器 (15, 85)，同样可以应用于冶金工业中。

软性 γ -辐射不同程度的吸收是从石炭中自动分离废石方法的基础 (39)。此外，制成了测量液体和气体消耗量的仪器，这种仪器是根据记录那放置在叶轮上的、放射性源发出的、被调制脉冲数目的原理操作的，叶轮在被控制的液体内部旋转 (206)。测量气体消耗量方法的实质 (86) 是在于测量由放射性辐射在气体内部造成的离子群移动时间。

核子反应堆是中子的强大源泉，而除了获得放射性同位素之外，在激活分析方面也有着广泛的应用 (2, 105, 171)。中子源用来分析岩石，例如含硼量 (197)。

金属和合金的放射性和中子照射是研究和改变这种金属和合金的物理性能的手段。例如曾测定用钴⁶⁰ 的 γ -射线对锌的照射，将提高铰链表面硬度 (131)。镍钢和锰钢的中子照射将

提高马氏体转变点，并加强冷却效果(127)。利用中子的照射推广了研究金属组织的新方法——中子检验法(Нейтрография)(126)。

最后应简略地谈谈应用放射性源于物质的分析。1952年，苏联研究人员建议借测定 β -微粒反射通量来分析物质的重元素含量的方法(12)。设计了快速分析钢的含钨量的仪器(13, 155)。此外，试验了分析钛铌合金的方法(14)。这种仪器的操作原理实质上与测量金属上涂层厚度的原理相同。最近根据这个原理，制成了分析二元混合物溶液的仪器(87)。使用 β -微粒反射通量分析溶液的可能性阐明在克罗姆普东的报告中(107)。使用反射 β -辐射的分析法可能应用于大量系统，例如分析铁矿石的含铁量，或者分析有色金属矿石的重元素含量。这个方法的优点在于快速。分析时间可能只化到1~2分钟。

软化的 γ -射线的反射通量可以用作分析物质，它们被物质吸收，主要是由于光电效应。而因为光电子对介质原子吸收的概率与4.5等级的顺序数(Z)成正比(Порядковому Номеру (Z) в Степени 4.5)，与3.5等级的辐射能(E)成反比，因此带有小 Z 的原子的 γ -射线反射级，将大于带高 Z 的原子所反射的，这样，就可能分析二元混合物的轻元素含量。这一原理曾应用于挑选石灰和页岩(156)。

結 束 語

尽管放射性同位素在冶金中有着广泛的应用，但是在冶金中利用它们作为指示器和辐射源的可能性远未耗竭。

为了更广泛地在冶金工业中应用放射性同位素，首先必须采用已经制成的仪器和装置于控制冶金工业的工艺过程。冷轧和热轧的厚度测量，镀锡层厚度的测量，应用放射性辐射的快速分析，泥浆密度记录器，钢水水平的自动调节器等等，可供国民经济方面大大节约，因此必须加强制造放射性同位素仪器的工作。

许多制成的仪器具有不够完善的电子线路图。但主要的缺点，尤其是那些应用 γ -辐射同位素的仪器，是电离测量法的采用。必须在最短期间充分扩大闪光计数器的生产，其主要部件是闪光器和光电倍增器。正如经验所证明的，闪光记录器的应用，可以大大降低 γ -射线源的功率，因此其费用就可以保证操作的安全条件。

保证测量不接触的放射性同位素仪器，在许多场合下，可以用作自动调节工艺过程系统中的传感器。轧材产量速度在10米/秒以下的轧钢机，如果不应用放射性同位素测厚计，未必能良好地操作。这些仪器的采用在轧制过程自动化方面开辟了新的可能性。真空的测量，液体和气体的消耗量，制品按重量的分级，矿石和金属的快速分析，应用电视装置的铸件和焊件探伤法——这些都是最近将来放射性辐射在工业上的应用。

参 考 文 献

1. Агапов В. Ф., Варшавский А. П., Дьяконов А. И. Всес. научно-техн. конференция по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений в народном хозяйстве и науке. М., АН СССР, 1957, 15.
2. Активационный анализ. Заводск. лаборатория, 1956, № 2, 201.
3. Архангельский А. А., Латышев Г. Д. Заводск. лаборатория, 1957, № 4, 430.
4. Бабикова Ю. Ф., Грузин П. Л. Всес. научно-техн. конференция по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений в народном хозяйстве и науке. М., АН СССР, 1957, 47.
5. Бардин И. П., Грузин П. Л., Земский С. В. Докл. АН СССР, 1957, 114, № 6, 1220.
6. Бардин И. П., Грузин П. Л., Земский С. В., Всес. научно-техн. конференция по применению радиоактивных и стабильных изотопов в народном хозяйстве и науке. М., АН СССР, 1957, 8.
7. Басьянс И. П. Заводск. лаборатория, 1956, № 2, 1437.
8. Баскин Л. Н., Богачев А. М., Бродский А. И., Верховский Б. И., Макаров А. Н., Новошенин Н. С., Рубинштейн Л. А. Всес. научно-техн. конференция по применению радиоактивных и стабильных изотопов в народном хозяйстве и науке. М., АН СССР, 1957, 112.
9. Богачев А. М., Верховский Б. И., Макаров А. Н. Заводск. лаборатория, 1955, № 7, 808.
10. Богачев А. М., Верховский Б. И., Макаров А. Н. Заводск. лаборатория, 1955, № 7, 813.
11. Богачев А. М., Верховский Б. И., Макаров А. Н. Заводск. лаборатория, 1955, № 7, 850.
12. Богданов Н. А., Куликов И. С., Жуховицкий А. А., Рейтблат В. А. Авт. свидетельство № 10268.
13. Богданов Н. А., Рейтблат В. А., Функе В. Ф., Жуховицкий А. А. Сб. Моск. ин-т стали, 1955, 34, 283.
14. Богданов Н. А., Функе В. Ф. Заводск. лаборатория, 1955, № 2, 181.
15. Биргер Г. И., Верховский Б. И., Овчаренко Е. Я. Всес. научно-техн. конференция по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений в народном хозяйстве и науке. М., АН СССР, 1957, 97.
16. Бокштейн С. З., Гудкова Т. И., Кишкин С. Т., Мороз Л. М. Заводск. лаборатория, 1955, № 4, 423.
17. Бокштейн С. З., Кишкин С. Т., Мороз Л. М. и др. Докл. АН СССР, 1955, 102, № 1,