
放射性同位素及輻射的应用

放射性同位素在研究金屬中偏析和 非金屬夹杂物方面的应用

李代鐘

放射性物質的發現已經六十多年了,人造放射性同位素的發現也有二十七年了。但放射性同位素在冶金方面的广泛应用,还只是最近十余年来的事情。因为只有建成原子反应堆后,才能大量生产人造放射性同位素。目前人造的放射性同位素已經超过一千种,但是有好多的放射性同位素的半衰期很短,不适于研究应用。比如象氧、氮、鋁、鎂等这些在冶金中重要的元素,就沒有适当的放射性同位素。

放射性同位素在冶金研究中的应用,目前最主要的是利用它来作示踪剂。因为示踪原子的方法灵敏度很高、易于分辨,同时它又有其他研究方法所沒有的优点。

因为放射性同位素在冶金中应用得非常广泛,为了能够較深入和較全面地叙述和綜合报导,所以本文只着重介紹放射性同位素在研究冶金学中的金属偏析和非金属夹杂物两个方面的情況。

研究金屬中偏析的自射綫照相方法

研究金属中偏析最有利的办法是用放射性同位素作自射綫照相。我們知道,金相显微镜和X射綫是研究合金結構最常用的工具。然而对于合金中元素的微观分布,象晶粒和晶界之間、同一相內、以及枝晶內和枝晶之間元素的分布等等,用金相和X射綫进行研究,常是比較困难的,而用自射綫照相解决上述問題是最簡便的。

自射綫照相方法远在1932年由塔曼(Tammann)和洛威斯(Loewis)^[1]利用放射性鈾檢驗鈾在鈹、錫、銻、鎳等金属中的行态。不久,塔曼和班德尔(Bandel)^[2,3]也用同样方法来研究微量鉛在各种不同杂质含量的鉄和鋼中的分布。他們应用的同位素是ThB(即 Pb^{212} ,半衰期10小时)。以后,有人在研究鉛在金属中的分布^[4],鉛在鋅鉛合金中的分布^[5],决定微量鉛在18/8不銹鋼^[6]和29%鎳、20%鉻、1.75%鉬、3.5%銅不銹鋼中^[7]的分布时(1951),也都是应用了鉛的天然放射性同位素ThB或 Pb^{210} 。天然放射性同位素在这方面的应用,除了鉛以外,放射性鈾也被用来研究鈾在鎳鈾合金中的分布(1942)^[8],用放射性鉍(Bi^{210} ,半衰期4.85天,衰变后为放射性 Po^{210})来研究鈾在鉛鈾合金中的偏析(1951)^[9]等。

正式应用人造放射性同位素来研究金属中的偏析,是在1948年章尼斯(Jones)^[10]用放射性鎢(W^{185})来測定鎢在高温合金中的分布。他証明了在70%鎳,25%鉻,5%鎢的合金中,鎢集中于枝晶上;但在同样的合金中另加入鈷时,鎢就形成金属間化合物和固溶于枝晶之間。

1956年,博克斯(Bokros)和罗森瑟尔(Rosenthal)^[11]将生物学中应用的液体乳胶自射綫照相方法应用到金属的自射綫照相,并以此研究了經過不同热处理后碳在純鉄中的分布。这样也就丰富了研究金属自射綫照相方法的内容。

。自射线照相方法不仅可以作一般的定性鉴定,而且可以作定量测定。科恩(Kohn)^[12]由测量底片黑度的方法决定了小钢锭中各部分的磷含量。以后在基什金(Кишкин)等^[39]以及隆金洛夫(Лонгинов)^[30]等的一些工作中都应用了这种定量方法。

科恩^[13,14]用自射线照相方法研究了钢中的磷和砷经过热处理和锻造后树枝状偏析的均匀化情况。他进行试验的方法大体是这样的:放射性磷以铁磷合金加入钢中,并分别在浇注态和经过锻造及均匀化处理后取样。钢样进行自射线照相以确定磷的分布。大约经过六个月后,磷的放射性几乎完全衰减,让样品在反应堆中进行短时期的辐照处理。在此情况下,只有其中的砷在48小时后是有放射性的;这时再用上次所用过的样品来做自射线照相,以确定砷在其中的分布。这样就可以比较在同一样品中这二种元素的分布。

用半衰期很短的同位素进行研究试验的方法与用半衰期长的同位素有所不同。一般是将样品直接放在粒子源中照射,使样品中被研究的元素由同位素核反应(即被照射物质与生成的放射性同位素属于同一元素)或非同位素核反应(即被照射物质与生成的放射性同位素不属于同一元素)而成为放射性元素后,再来进行放射性照相或测量。比如铝的放射性同位素 Al^{29} 的半衰期只有六分半钟,不便于进行上述的自射线照相操作。所以斯特芬(Stephen)和利威斯(Lewis)^[15]在研究铝在硅片中的分布时,便将硅片试样放在快中子流中经过短期照射,使其中的铝由 $Al^{27}(n,\alpha)Na^{24}$ 的核反应而变成 Na^{24} (半衰期14.8小时),再按一般方法进行自射线照相。另外象希勒特(Hillert)^[16]和法拉吉(Faraggi)等^[17]在研究硼在铁和钢中的沉淀分布时,便是将样品和乳胶底片一起放置于反应堆中,由 $B^{10}(n,\alpha)Li^7$ 核反应的 α 粒子在乳胶底片上形成影像。但只有少数的这种核反应可以利用,所以这些方法仅限于很特殊的情况。

对于利用气体的同位素作金属中的自射线照相问题,勃鲁克(Брук)和尼克拉也夫(Николаев)^[18]研究氦在锆和钛中的分布是一个很好的例子。在他们的试验中,使氦水在真空中成为水蒸汽,并使它在锆屑表面分解,再使生成的氦渗入被研究的锆、钛样品中,然后如常用的方法一样作自射线照相,得到氦在这些金属中分布的很清晰的图象(图1及图2)。

以人造放射性同位素作自射线照相来研究金属中的偏析,虽然时间不长,但由于这个方法有其特别的优点,所以上述各种应用放射性同位素的自射线照相方法,就充分地利用来做这

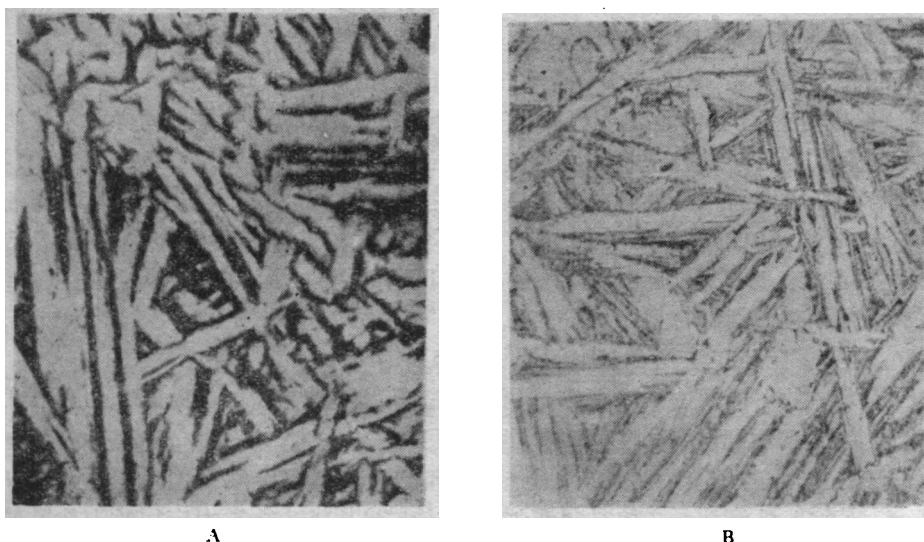


图1 工业纯金属钛在 $980^{\circ}C$ 以氦饱和后,在空气中冷却。每100克金属钛含氦2100毫升
A. 金相显微照相 $\times 100$; B. 自射线照相 $\times 100$ 。

方面的研究。目前無論对鋼鐵、或者有色金属和稀有金属等都已广泛地应用了这个研究方法, 得出了許多重要的結果。

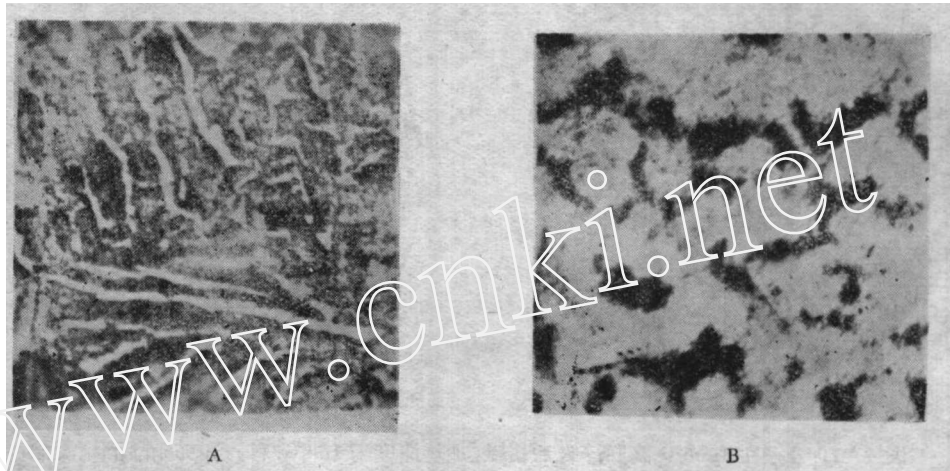


图2 工业純金属鋳在 1000℃ 以氫飽和后,在空气中冷却。每 100 克金属鋳含氫 1700 毫升
A. 金相显微照相 × 200; B. 自射綫照相 × 300。

自射綫照相研究黑色金属中偏析

鋼經高频淬火后, 碳在組織中的分布与用其他淬火方法不同, 这已經由 X 射綫图案所証明。但是用 X 射綫方法不能决定高频淬火前后組織中碳分布的浓度的变化。自射綫照相的特点可由比較图 3 中 A, B 和图 4 中 A, B 四张照片清楚地表現出来。图 3 A, B 是未淬火前的組織, 图 4 A, B 是 1300℃ 高频淬火后的組織。由自射綫照相可以看出, 在淬火层中碳稍微有些偏析; 但是金相照片就显示不出碳的这种不均匀变化^[19]。稀土金属在鉻鎳不銹鋼中的分布, 用放射性鈾和釷做了研究, 得出稀土金属在此鋼中有輕微的树枝状偏析; 这种偏析在热处理后显

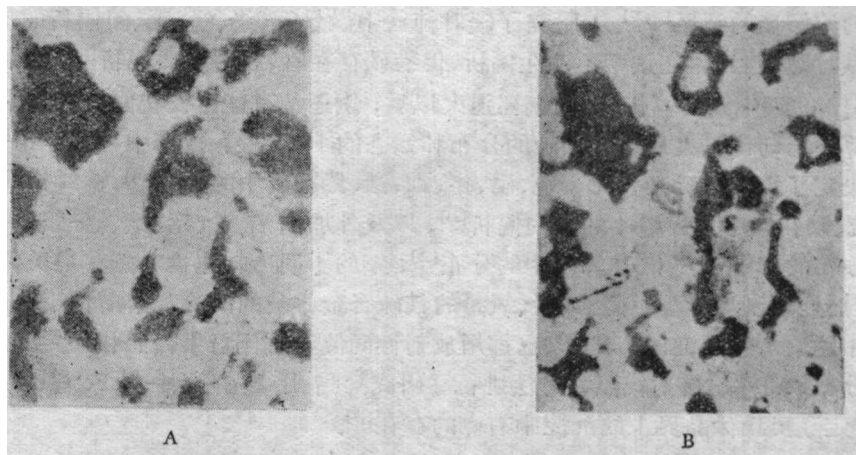


图3 20号鋼高频淬火前的組織(經 1200℃ 6 小时及 950℃ 4 小时退火处理),
3 % 硝酸酒精浸蝕

A. 金相显微照相 × 135; B. 自射綫照相 × 135。

著減弱。在一般情况下, 鈾和釷不沿晶界分布, 也不呈非金属夾杂物出現, 而是有規則地分布于金属基体中^[20]。碳、磷、硫在鋼中的树枝状偏析, 应用了相应的放射性同位素做了观察和測定。实验指出, 树枝上这些元素少, 而树枝間这些元素多; 其中硫和磷在树枝間的浓度超过了树

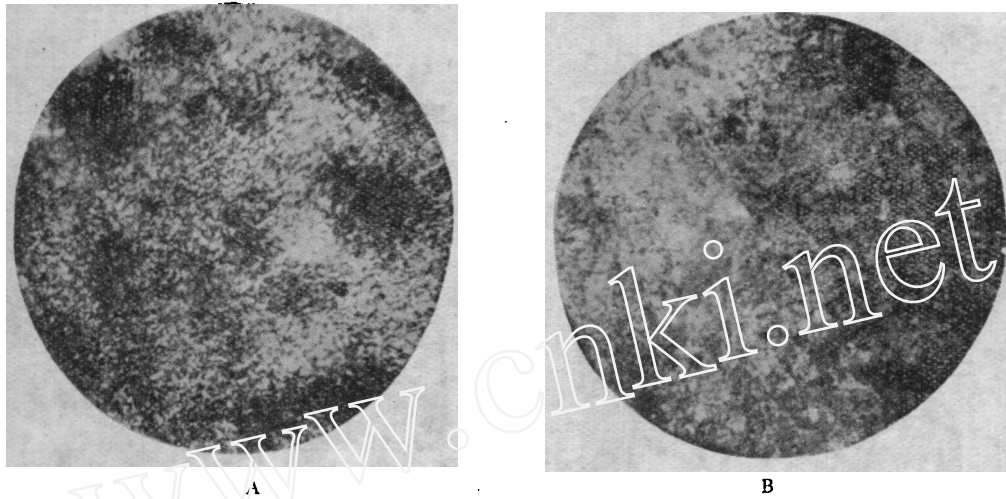


图4 20号钢在1300℃高频淬火后组织(加热速度为160℃/秒),3%硝酸酒精浸蚀
A. 金相显微照相 ×135; B. 自射线照相 ×135.

枝上的两倍,硫则完全偏析在树枝轴之间^[21]。鲍罗托夫(Болотов)和戈利什金(Гольштейн)^[22]决定了2.5%铬钢中铬均一化的扩散退火制度。指出在1200℃保温5小时或在1300℃保温2小时,均只是稍微减弱铬的偏析;要使铬完全均匀化,须在1400℃保温2小时。另外他们也确定了冷却速度对18铬-镍-钨钢锭中硫、磷和钨偏析的影响^[23]。斯图德尼兹(Студниц)^[24]观察了P³², S³⁵, W¹⁸⁵, C¹⁴, Mo⁹⁹在18铬-钨-钼钢中的分布,指出钨在枝晶中间,硫则呈点状夹杂物分布于晶界上和晶粒内。继后,斯图德尼兹等^[25]又发表了关于C¹⁴, Si³¹, Mo⁹⁹, W¹⁸⁵, Ni⁵⁹, Cr⁵¹, S³⁵, P³²在25铬-镍-钨和25铬-镍-钨钢中的定量分布,决定了铸态和过热钢的晶间断裂是由于硫、钨和少量铬、磷形成晶间膜,降低了此处的机械性能的原因。用类似的方法也研究了在不同热处理情况下碳在纯铁及各种铁合金中的分布,并且也决定了不同热处理对各种合金元素在铁中的溶解度的关系^[26,27]。研究了碳对纯铁中微量铜、铬、锰、钨、钼偏析的影响;证明了铁中不含碳时,这些元素在铁中不产生偏析,但有碳存在时,就会形成偏析^[28]。用Cu⁶⁴决定了含铜约1.5%的钢中铜的偏析;指出钢经退火以后,铜还是有些树枝状偏析^[29]。用自射线照相定量地计算了均匀化退火后碳钢中硫的分布和铸态的18铬-镍-钨钢中钨的分布^[30]。用放射性同位素也决定了钢结晶时杂质元素硫、磷、铬、钨、钼、钨在其中的分布^[31],钨对钢的脆性断裂的影响^[32],硫、磷在钢中和焊缝中的晶内偏析^[33],以及外加调质剂(钨、钼、钨-钼-钨、钨、钨、钨)对钢中硫分布的影响^[34]。硫在焊缝中的分布^[35],钢的不同冷却速度对硫在奥氏体中分布的影响^[36],不同热处理制度对含不同碳、锰、氧量的铁硫合金中硫的沉淀和溶解情况^[37],热处理对硫在奥氏体中的溶解和沉淀的变化^[38],也都用放射性同位素硫作自射线照相鉴定了。微量硼在钢铁中的分布,同样用自射线照相方法进行了研究。指出硼在铁中呈Fe与Fe₂B的共晶分布^[39],也肯定了奥氏体晶界上的沉淀中有硼的存在^[17]。

自射线照相研究有色金属和稀有金属中偏析

对于有色金属和稀有金属中偏析的研究也同样广泛地应用了自射线照相方法。基什金等^[39]研究了某些合金元素或杂质元素在镍中的分布。证明少量钨和铁存在于镍中时是集中于树枝上,而其他杂质象硫、钨、锡这些元素是偏析于树枝之间,并且钨的树枝状组织很难消除;含0.7%钨的镍钨合金需要在1250℃退火185小时才能均匀化。但是合金经过形变以后比铸

造状态均匀化大为加快,如含 0.007% 铈在 1200℃ 退火 60 小时仍然能看出铈正集中于晶界,经过变形处理后,在 1200℃ 退火 1 小时就基本均匀化了。勃鲁克等^[11]利用氚研究了氚在钛和锆中的分布。所得的氚所饱和的纯钛的自射线照相图片中(图 1 B),灰白的针状组织为含氚甚低的 α 相,而暗黑部分为含氚很高的 α 相和钛的氢化物的共晶;这就更确切地肯定了以前用金相法所不能可靠地判断的氚在这些组织中的含量问题。图 2 B 为氚所饱和的纯锆的自射线照相,分布于晶界的为 α 相和锆的氢化物的共晶。同时由比较图 1 A 与 B 及图 2 A 与 B 四张图片可以看出,钛的自射线照相组织与金相组织相同,而锆的这两种照相组织就不一样,这说明了钛-氚系和锆-氚系不是相同的结构。另外也指出了钛在焊接时,氚从金属钛进入焊缝中呈均匀的分布,不会以氢化物出现。用放射性铈检验了铅铈合金的凝固速度对偏析的影响;证明合金慢冷时没有偏析,当快冷时铅就倾向于铈的底部形成比重偏析^[40]。以类似方法研究了青铜中锡的偏析;指出冷却速度甚大时,偏析很弱;当冷却太慢时,锡就形成柱状组织的反偏析^[41]。米切尔(Michael)和比维尔(Bever)^[42]用 Na^{24} 检验了钠在硅铝合金中的分布,解释了钠对此合金组织的影响。另外他们也分别用放射性铜研究了铝铜合金^[43]和用放射性锌研究了铝锌合金^[44]的凝固速度,决定了这两个系的初级固溶体中浓度不均匀分布的情况。用 Fe^{59} 和 Fe^{55} 决定了铁在纯铝中经过不同热处理和加工处理后的分布;证明少量铁存在于铝中是偏析于枝晶之间的^[45]。研究了微量杂质($<0.006\%$)在纯铝中的分布,指出即使这些杂质的含量很低,它们也偏析在枝晶之间或者在晶界上^[46]。用 Ca^{45} 作镁钙合金自射线照相,定量地决定了冷却速度不同时的微观偏析^[47]。用放射性铈检查了微量铈在锆中的分布,得出大部分的铈是集中于锭子的顶端^[48]。由研究铁、银、锡、铈这些杂质元素在锆中的偏析,指出了它们在锆中的溶解度很低^[49]。银在银铈合金中的分布和银在浸注的银金合金中的分布^[50],铈在铈合金中的分布^[51],以及碳、钙、铬这些微量杂质在锆中的分布^[52],也都应用自射线照相进行了研究。

放射性同位素研究金属中非金属夹杂物

用放射性同位素研究金属中非金属夹杂物的绝大多数工作是研究钢中的非金属夹杂物。较早的工作是科恩在 1950 年发表的^[53]。他用自射线照相方法观察了钢锭中磷的偏析。次年,他又用同样的试验方法,除了研究钢中磷的偏析以外,还研究了硫和砷的偏析^[54]。以后,许多科学工作者还利用了放射性同位素的其他示踪方法来研究钢中非金属夹杂物;特别是苏联的科学工作者在这方面所发表的工作最多。

1954 年,格里戈良(Григорян)和萨马林(Самарин)^[55]首先发表了用放射性同位素研究滚珠钢中非金属夹杂物的来源问题。他们将 Ca^{45} 混入熔炼及浇注的各种耐火材料中。熔炼试验是在 10 公斤感应炉中进行的,并在 3 吨电弧炉的熔炼条件下核对了其中的一部分试验。结果指出,炉渣不会进入滚珠钢中成为非金属夹杂物。只有当钢液被强烈氧化时,碱性高频炉炉衬才有些进入钢中成为一部分夹杂物。而外来夹杂物主要来源于浇注用的耐火材料,特别是来自盛钢桶的内衬。这里的试验结果指出,钢中的夹杂物有 5—9% 来自出钢槽,有 18% 来自盛钢桶内衬。继后,卡林尼科夫(Калинников)和萨马林^[56]在 20 吨的碱性电炉中进行了冶炼同样钢种的试验,肯定了钢中外来夹杂物的主要来源是浸蚀盛钢桶的内衬。指出这些夹杂物虽然占全部夹杂物的百分数不大,但是其颗粒甚大,要减少这些夹杂物需用高铝砖作盛钢桶的内衬。马尔古利斯(Маргулис)和卡拉乌洛夫(Караулов)^[57]认为萨马林等人的试验不够满意,因为所加入的示踪剂只是在耐火材料与钢液接触的表层,从而使钢液浸蚀耐火材料后所测得的结果不一致。于是他们进行了进一步的试验。试验的方法保证了示踪剂更均匀地分布于耐火材料中。他们肯定在滚珠钢中所观察到的矽酸盐类的玻璃夹杂物主要来自盛钢桶的内衬,并

且认为用高铝砖作这种内衬是较好的。以后卡林尼科夫和薩馬林^[58]继续研究了浇注用湯道砖对滚珠鋼中非金属夹杂物的影响。所用的示踪剂仍为 Ca^{45} , 不过加入的方法稍有改变。冶炼和其他試驗条件都与工厂生产情况相同。而湯道砖分别用高岭土、高铝土、石墨黏土和普通的耐火黏土做成。所得結果指出, 鋼中外来夹杂物含量没有超过总夹杂物的 1%, 而且这个夹杂物含量与所用浇注耐火材料的类别没有关系, 同时也没有发现外来夹杂物在鋼錠中分布的規律。卡拉欽澤夫(Қараценцев)^[59]也用同样方法研究了由浇注用流鋼槽、盛鋼桶衬砖、湯道砖而来的夹杂物对滚珠鋼的沾污問題。結果认为由于鋼液浸蝕或冲刷耐火材料所形成的非金属夹杂物的比例不大; 来自盛鋼桶衬砖的約为 2.7%, 来自湯道砖的約为 0.05%; 且它們在鋼錠中的分布是没有規律的。斯莫利亞科夫(Смоляков), 卡林尼科夫和波塔波夫(Потапов)^[60]在生产性条件下研究了还原渣和滚珠鋼中夹杂物的关系; 証实了从碱性电炉出来的鋼液有被炉渣沾污的可能。在不同情况下, 这种渣的夹杂物占总夹杂物量的 0.001—10%。当渣的化学成分相同时, 黏度高的渣对鋼的沾污影响较小; 同时认为鋼液在經過湯道时有一部分夹杂物被除去。博賈斯基(Bojarski)等^[61]将 Fe^{59} 放入流鋼砖中, 由放射性测量和自射綫照相研究了耐火材料质量对鋼中夹杂物含量的影响和夹杂物在鋼錠中的分布。他們的試驗也是在工业生产性的条件下做的, 鋼种为低碳靜鎮鋼。結果証明耐火度高(1750℃)的流鋼砖进入鋼中的夹杂物比耐火度低的(1690° 及 1510℃)流鋼砖多; 同时认为使夹杂物通过鋼液进入保温帽不是最好的办法, 而要另外改进浇注条件; 并且肯定鋼材中主要缺陷的形成是由于脱氧过程所产生的内生夹杂物起主要作用。沙脫(Saito)和希曼留基(Shimanuki)^[62]用 Ca^{45} 和 Zr^{90} 来考察鋼錠(中碳鋼)中非金属夹杂物的来源。試驗是在 150 仟瓦的电炉熔炼的, 并浇成 90 公斤的鋼錠, 示踪剂加在耐火材料的水口、陶塞管套管和砌砖黏結剂中。經放射性測量指出, 浇注时被破坏的耐火材料有 6% 进入鋼錠模中, 但其中又有 52.3% 浮出, 而其余的 47.7% 就留在鋼錠中成为夹杂物。而鋼液浸蝕盛鋼桶耐火材料所生成的夹杂物比例占了全部夹杂物的 8.7%。另外还指出, 浇注高度高时对耐火材料的破坏也愈严重, 不过这些进入錠模中的耐火材料夹杂物浮出的也会多些。他們曾拟进行自射綫照相鑑定, 但因加入的放射性强度不够, 而没有成功。

綜合以往用放射性同位素对鋼中外来的耐火材料夹杂物与炉渣夹杂物的一些研究, 可以归納为下面几点: (1) 用放射性同位素作这方面的研究, 已大多是工业規模的了, 所用的放射性强度一次达几百毫居里。虽然这些实验操作比較繁复, 但这些工业規模的試驗并没有什么特殊問題, 而重要的是正确地选择試驗方法。(2) 由于这些試驗的条件比較复杂, 所以他們的研究結果有些是有局限性的, 或者是有不大一致的地方。所以对于鋼中来自耐火材料或炉渣的夹杂物的具体数字, 没有普遍的或实际的意义。(3) 有几点結論是相同的, 即 (i) 外来夹杂物在鋼錠中的分布没有什么規律; (ii) 外来夹杂物占鋼中总夹杂物的含量不大, 但顆粒較大, 因此对氧化物的評級数有直接的影响; (iii) 出鋼温度高对耐火材料的破坏也愈大。

格努切夫(Гнучев)^[63]介绍了用自射綫照相来观察鋼錠中夹杂物的方法。指出应该特别注意从样品上的油迹、顏色、刻划等所造成的照相的伪效应。同时考察了不同的浇注方法对外来夹杂物在鋼錠中分布的影响。在格努切夫等^[64]的另一篇报告中, 报导了在浇注时的各个阶段分別向鋼液中加入放射性夹杂物(Ca^{45} 的硅酸鈣粉末), 考察了夹杂物在鋼錠中各部分的分布。

鋼液出炉后的二次氧化对鋼中所形成夹杂物的含量及其排除問題一直未得到很好的解决, 而这又是寻求改进鋼质量的一个重要方面。馬林諾夫斯基(Малиновский)和莫洛佐夫(Морозов)^[65]用放射性同位素研究了這個問題。他們在鋼液出炉之前不久加入 Zr^{85} 或 Ta^{182} 。結果得出, 在炉中被氧化的鋯在出鋼时从鋼液除去, 在鋼液浇注和結晶时被氧化的鋯便大部分

殘留于鋼中;而氧化了的鉍則几乎完全从鋼液中除去。这就說明了,鋼被夹杂物沾污主要是由于与氧亲和力最強的元素在鋼液浇注和結晶时所形成的氧化物所造成的。

格尔奇科夫(Герчиков)等^[66]也用示踪方法研究了沸騰鋼、鋼坯和薄板中夹杂物的性质。得出鋼在錠模中強烈沸騰所形成的泡沫渣是这种鋼中非金属夹杂物的主要来源;減少錠模中泡沫渣的形成和从鋼液鏡面除去泡沫渣是降低鋼被夹杂物沾污的主要措施。

皮庫諾夫(Пикунов)^[67]报导了用放射性同位素研究銅和銅合金中的非金属夹杂物。他介紹了用 S^{113} , Zn^{65} 等放射性同位素加于 $Cu-Cu_2O$ 中,用自射綫照相法观察所生成的这些元素的氧化物在不同結晶速度下的分布情况。但該文中仅提出了操作方法,未介紹具体研究結果。不过这是除了研究鋼以外的其他金属中的非金属夹杂物有启示性的一篇报导。

結 語 与 展 望

研究元素在金属中的偏析或分布,前面已經說过,放射性同位素是最有利的手段。近年来,虽然由于利用微束X射綫譜来进行这方面的研究,从而使金相学有了更深的发展,然而以放射性同位素来研究金属中偏析,仍是十分必要的,它是帮助深入金相学新天地的鉆探者。比如稀土元素目前在合金与合金鋼方面获得了新的应用,然而对稀土在其中的許多机理問題,尚未得到应有的認識。杜蒙特(Du Mont)等^[20]利用放射性鈾与釷研究它們在鉻鎳不銹鋼中的分布,得出鈾与釷在一般情况下不偏析于晶界与夹杂物中,而是均匀地固溶于金属基体。然而这个判断,可能有很大的局限性。我們知道,稀土金属与氧的亲合力特別強,即形成稀土氧化物的傾向很大;在一般情况下所冶炼的合金或鋼,也常見稀土形成各种非金属夹杂物。因此,稀土金属在各种合金与鋼中的分布或其他机理,仍是值得用放射性同位素来作透彻研究的。

鋼中非金属夹杂物的来源問題,虽然有了許多研究,即在应用放射性同位素方面,也有如上述的許多工作^[55-62],然而他們的結論甚为分散,即仅以对滾珠鋼中夹杂物的来源的分析來說,也有很矛盾的看法。維伊諾夫(Вейнов)等^[68]指出滾珠鋼出鋼时的电石渣是此鋼中非金属夹杂物的主要来源,而薩尼罗(Саниро)^[67]論証了这一結果,認為滾珠鋼出炉后夹杂物的急剧增加是由于还原渣在鋼液中乳化的結果;但薩馬林等^[55]則指出炉渣不会成为滾珠鋼中的非金属夹杂物;斯莫利亚科夫等^[60]則証实碱性电炉冶炼滾珠鋼,还原渣能成为鋼中的非金属夹杂物,并且在严重的情况下,炉渣夹杂物占了总夹杂物含量的10%。另外,就湯道砖質量与鋼中外来夹杂物关系及对鋼質的影响問題來說,各种推断也是不一致的^[58-60,70,71]。因此,鋼中夹杂物的来源虽然很受生产实际与科学研究的重視,但并未得到滿意的解决,而放射性同位素法仍是探寻这个問題的同—結論的有利方法。

准确測定鋼中非金属夹杂物的含量是研究改进鋼質量的一个方面,过去曾經进行了許多工作。虽然以往用了一些比較的方法,同时也对試样进行过重复測定,但所得結果并不是令人十分滿意的,并且对測定方法的准确性也提出了異議与补充^[72-75]。所以對於准确測定鋼中夹杂物含量的方法仍是目前須要繼續研究的課題。利用放射性同位素的示踪作用就有幫助解决这一問題的可能。已經有人利用 Ca^{45} 証明鋼中的 CaO 在电解分离及破坏碳化物的化学处理过程中不受損失,而渣中的 CaO 則受損失^[58,60];用 S^{35} 驗証了碳鋼中硫化物分离及分析方法的准确性^[76]。同样,由于夹杂物在鋼中存在的行为和状态的复杂性,用类似方法繼續确定分析鋼中夹杂物的定量方法的准确性,仍須繼續进行工作。

此外,象决定某些夹杂物的組成,某些微量元素或杂质元素在金属中的行为和状态,以及夹杂物或元素在金属中的偏析或分布,相的变化等等課題,利用放射性同位素来解决都是有其特別方便之处的。

当然,研究金属中偏析和非金属夹杂物还只是冶金学中的一部分,另外,象冶金方面的扩散、冶金物理化学、冶金过程的控制,以及冶金分析等方面的研究,也都相当广泛地应用了放射性同位素。我国的冶金工业正在飞跃的发展,而相应地对冶金研究提出更繁重的任务,因此应用放射性同位素来帮助解决冶金中的疑难,进一步推动冶金科学的发展,这是今日日程上的工作,也是我国在这方面的科学研究工作者正在奋斗的任务。

参 考 文 献

- [1] G. Tammann, A. Loewis: *Zeitschrift für anorganische und allgemeine chemie*, **205** (1932), 145.
- [2] G. Tammann, G. Bandel: *Arch. Eisenhüttenwesen*, **6** (1932—33), 293.
- [3] G. Tammann, G. Bandel: *Z. Metallkunde*, **25** (1933), 153, 207.
- [4] W. Seith, A. Keil: *Z. Metallkunde*, **26** (1934), 68.
- [5] K. Lochberg: *Metallforschung*, **2** (1947), 230.
- [6] L. G. Erwall, M. Hillert: *Research*, **4** (1951), 242.
- [7] L. R. Standifer, M. G. Fontana: *Metal Progress*, **65** (1) (1951), 65.
- [8] J. H. Dillon, J. N. Street: *Journal of Applied Physics*, **13** (1942), 189.
- [9] M. T. Stewart, N. Thomas, K. Wanchope, W. C. Winegard, B. Chalmers: *Physical Review*, **83** (1951), 657.
- [10] W. E. Jones (General Electric Co.): Patent No. 74 582 (1948).
- [11] J. C. Bokros, P. C. Rosenthal: *J. Metals*, **8** (1956), 286.
- [12] A. Kohn: *Rev. Me't.*, **51** (1954), 503.
- [13] A. Kohn: *Metal Treatment*, **20** (1953), 405.
- [14] A. Kohn, J. Doumerc: *Metal Treatment*, **22** (1955), 387.
- [15] A. B. Stephens, M. N. Lewis: *Phys. Rev.*, **69** (1946), 43.
- [16] M. Hillert: *Metal Treatment*, **19** (1952), 135.
- [17] H. Faraggi, A. Kohn, J. Doumerc: *Compt. rend.*, **235** (1952), 714.
- [18] Б. И. Брук, Г. И. Николаев: Доклады, АН СССР, **116** (1956), 78. Б. И. Брук, Г. И. Николаев: Всесоюзная конференция по применению изотопов и ядерных излучений, 1957, металлургия и металловедение, 499.
- [19] И. Н. Кидин, С. Н. Крюков, Е. К. Захаров: *Применение радиоактивных изотопов в металлургии*, **34** (1955), 53.
- [20] C. S. DuMont, J. E. Gates, C. M. Henderson: *Trans. Amer. Soc. Metals*, **48** (1956), 306.
- [21] М. И. Гольдштейн, И. Е. Болотов, П. В. Склюев: Труды совещания по экспериментальной технике и методам высокотемпературных исследований, 1956, экспериментальная техника и методы исследований при высоких температурах, 724.
- [22] И. Е. Болотов, М. К. Гольдштейн: *Заводская лаборатория*, № 7 (1955), 828.
- [23] И. Е. Болотов, М. К. Гольдштейн, А. А. Попов, А. Б. Федоров: *Заводская лаборатория*, № 6 (1956), 682.
- [24] М. А. Студниц: *Технология транспортного машиностроения*, № 2 (1956).
- [25] М. А. Студниц, И. Л. Миркин: Всесоюзная конференция по применению изотопов и ядерных излучений, 1957, Металлургия и металловедение, 372.
- [26] А. С. Завьялов, Б. И. Брук: *同 25*, 363.
- [27] В. Brook, A. Zavyalov, G. Kapirin: *Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy*, 1958, 19, P/2236, 219.
- [28] С. Beaulien, A. Kohn: *Comptes. Rendus*, **245** (1957), 1244.
- [29] И. Р. Крянин, С. И. Смоленский, М. Н. Студниц, Г. И. Бабушкья: *Металловедение и обработка металлов*, **3** (1956), 20.
- [30] М. Ф. Лянгинов: *同 25*, 407.
- [31] В. М. Тагеев, Ю. Д. Смирнов: *同 25*, 138.
- [32] А. М. Полякова, Л. В. Смирнов, В. Д. Садовский: *同 25*, 356.
- [33] Б. А. Мовчан, Л. А. Позняк: *同 25*, 391.
- [34] С. В. Красковский, Н. С. Крещановский: *同 25*, 428.
- [35] В. И. Брук: *Сварочное производство*, **11**, (1955), 8.
同 27.
- [36] С. С. Носырева, А. М. Полякова: *Сталь*, № 12 (1955), 1120; С. С. Носырева, А. М. Полякова:

- Доклады АН СССР, 103 (1955), 431.
- [37] A. S. Keh, L. H. Vlack: *Trans. AIME.*, **206** (1956), 950.
- [38] A. Kohn: *Rev. Metall.*, **55** (1958), 285.
- [39] С. Т. Кишкин, С. З. Бокштейн: Proceedings of the International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy, 1955, 15, P/703; С. З. Бокштейн, Т. И. Гудкова, С. Т. Кишкин, Л. М. Мороз: *Заводская лаборатория*, № 4 (1955), 423.
- [40] P. J. Killaby, B. J. Taylor, W. C. Winegard: *Amer. Feundryman*, **22** (5) (1952), 59.
- [41] W. C. Winegard: *Amer. Feundryman*, **23** (4) (1953), 140.
- [42] A. V. Michael, M. V. Bever: *Trans. AIME*, **197** (1953), 679.
- [43] A. V. Michael, M. V. Bever: *Trans. AIME*, **200** (1954), 47.
- [44] D. Jaffe, M. V. Bever: *J. Metals*, **8** (1956), 972.
- [45] 加藤正夫, 小林昌敏: 日本金属学会志, **19** (1955), 615.
- [46] F. Montariol: *Compt. rend.*, **240** (1955), 1027.
- [47] З. А. Свищерская, М. Е. Дриц, Э. С. Каданер: 同 25, 411.
- [48] G. L. Pearson, J. D. Struthers, H. C. Thenerer: *Physical Review*, **77** (1950), 809.
- [49] А. А. Бугай, В. Н. Васильевская, Е. Е. Косенко: 同 25, 304.
- [50] G. Glawitsch: *Z. Metallkunde*, **47** (1956), 199.
- [51] C. J. Beets: *Nuclear Energy*, **3** (1956), 45.
- [52] P. L. Gruzin, V. S. Emelyanov, G. G. Ryabova, G. B. Fedorov: 同 27, P/2526, 187.
- [53] A. Kohn: *Compt. rend.*, **230** (1950), 2201.
- [54] A. Kohn: *Rev. Metall.*, **48** (1951), 219.
- [55] В. А. Григорян, А. М. Самарин: Известия АН СССР, ОТН, № 3 (1954), 91.
- [56] Е. С. Калинин, А. М. Самарин: Сессия АН СССР по мирному использованию атомной энергии, 1955, Заседания отделения технических наук, 3.
- [57] О. М. Маргулис, А. Г. Караулов: *Огнеупор*, № 6 (1956), 253.
- [58] Е. С. Калинин, А. М. Самарин: 同 21, 714.
- [59] Л. Н. Караченцева: 同 21, 737.
- [60] В. Ф. Смоляков, Е. С. Калинин, В. Д. Потапов: *Сталь*, № 10 (1957), 893.
- [61] Z. Wojarski, W. Orzeszko, S. Pawlowski, R. Wusatowski, Z. Ziolkowski: Proceeding of the First (UNESCO) International Conference, Radioisotopes in Scientific Research, 1, 388.
- [62] T. Saito, R. Shimanuki: 同 61, 362.
- [63] С. М. Гнучев: Труды III, Конференции по физико-химическим основам производства стали, 1955, Физико-химические основы производства стали, 633.
- [64] С. М. Гнучев, В. Г. Куклев: 同 59, 69.
- [65] Е. И. Малиновский, А. Н. Морозов: 同 25, 111.
- [66] Д. С. Герчиков, Л. Г. Гольдштейн, А. М. Фенгенден: 同 25, 116.
- [67] М. В. Пикунов: *Завод. лабор.*, № 7 (1955), 833.
- [68] С. Г. Веинов, В. А. Бояршинов: *Сталь*, № 1 (1955), 46.
- [69] С. И. Сапиро: *Сталь*, **6** (1956), 519.
- [70] В. А. Мчедлишвили, А. М. Самарин: Изв. АН СССР ОТД, № 3 (1956), 106.
- [71] S. Kienow, K. P. Breitel, U. K. Heinemann: *Stahl und Eisen*, **76** (1956), 1416.
- [72] Г. И. Баталин, А. Л. Розенфелд: *Вопрос производства стали*, **2** (1955), 93.
- [73] 前川静弥, 海老源, 三代重: 鉄と鋼, № 2 (1956), 121.
- [74] 李代鍾, 赵淑熙, 白玉文, 师昌緒: 钢铁工厂实验室, **10** (1958), 1.
- [75] J. V. Hardy, R. T. Allsop: *J. Iron & Steel Inst.*, **195** (1960. 7.), 302.
- [76] 中国科学院金属研究所: 用 S^{35} 测定碳钢中硫化物定量分析方法的准确性 (待发表).

综合性参考文献

- [1] A. Kohn: *Rev. Metall.*, **48**, № 3 (1951), 219; *Радиография, сборник статей* (1952), 376.
- [2] M. V. Bever: *Modern Research Techniques in Physical Metallurgy*, ASM (1953), 278.
- [3] И. С. Куляков: *Металлургия СССР, 1917—1957*, **1** (1958), 728.
- [4] A. Kohn: *Metallurgical Reviews*, **3**, № 10 (1958), 143.
- [5] M. T. Simnad: *Proceedings of the Second on the Peaceful Uses of Atomic Energy*, 1958, **19**, P/803, 193.