

稀土金属在钢铁中的应用

(譯 文 集)

金 心 韓育良 成詩儀 等 譯校

这本譯文集系根据苏、美、英、法及德意志民主共和国的期刊杂志中有关的文章編譯而成，共包括 37 篇譯文。

內容涉及稀土金属在脫硫、除气（氦、氬、氦等）中的作用，在結構鋼、不銹鋼、耐热鋼、鋁鋼、鑄鉄（包括球墨鑄鉄）中的应用；还有一些文章介紹稀土合金及利用放射性同位素示踪原子研究稀土元素对鋼的性能的影响等。

这本文集供冶金厂試驗室、科研部門有关的工程技术人员閱覽。

稀土金属在鋼鉄中的应用

（譯文集）

金 心 韓育良 成詩仪 等 譯校

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯（北京灯市口 71 号）

中国工业出版社出版（北京德勝門外 10 号）

北京市书刊出版业登記證出字第 110 号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 850 × 1168 $\frac{1}{16}$ · 印张 12 $\frac{1}{16}$ · 字致 309,000

1965 年 6 月北京第一版 · 1965 年 6 月北京第一次印刷

印数 0001—2,430 · 定价（科六）1.80 元

*

統一书号：15165 · 3844（冶金-605）

目 录

1. 稀土元素(鑷、鈾、鐳、釷)的脫氧能力·····	1
2. 稀土元素对氢在鉄水中溶解度的影响·····	8
3. 稀土元素对鉄水表面张力的影响·····	21
4. 用鑷、鈾、鐳和釷使鋼脫氧的热力学·····	29
5. 用稀土脫硫·····	37
6. 鑷和鈾在鋼鉄純化中的作用·····	41
7. 稀土元素在合金結構鋼和不銹鋼冶炼中的应用·····	109
8. 經稀土处理的結構鋼和不銹鋼的化学不均匀性·····	118
9. 稀土元素对合金結構鋼白点敏感性的影响·····	123
10. 稀土金属在結構鋼中的应用·····	127
11. 含鑷結構鋼的回火脆性·····	135
12. 加稀土金属的合金結構鋼的机械性能及其非金属 夹杂物的性质·····	142
13. 加稀土金属和硼的 35ГП 鋼的性能·····	151
14. 用鈾处理鉻鎳鋼水对它的結晶特征的影响·····	155
15. 稀土金属对鉻鎳鋼性能的影响·····	164
16. 用稀土消除不銹鋼的热軋缺陷·····	174
17. 稀土金属对 1X18H9T 不銹鋼性能的影响·····	189
18. 稀土金属对不銹鋼性能的影响·····	195
19. 鈾对鉻鎳不銹鋼性能的影响·····	203
20. 含稀土氧化物的X18H12M2T 不銹鋼的性能·····	226
21. 稀土金属及其氧化物对一些不銹鋼性能的影响·····	233
22. 鈾对 15X1M1Φ.1 鋼的机械性能的影响·····	239
23. 含稀土的X1H77TiO 合金的細致組織·····	250
24. 稀土元素对鎳基热强合金性能的影响·····	258
25. 少量鈾对 Cr-Mo-V 热强鋼的純化作用·····	268

IV

26. 鑄鋼中各种脫氧剂的作用·····	276
27. 少量稀土金属对鑄鋼的組織与性能的影响·····	300
28. 用稀土金属处理鋼水的經驗·····	307
29. 鈾对 45Л 鋼結晶和性能的影响 ·····	317
30. 鈾对 15X1M1ΦЛ 鋼机械与工艺性能的影响 ·····	323
31. 鑄鋼中的稀土金属和其他脫氧剂——对低溫冲击 性能的影响——·····	330
32. 利用鈾对不銹鋼、結構鋼和鑄鉄进行变性处理·····	348
33. 鈾在純鉄和鑄鉄中的扩散与显微分布·····	356
34. 鈾在鑄鉄球化过程中的应用·····	364
35. 經稀有金属球化处理的鑄鉄的一次結晶和組織 特性·····	370
36. 稀土金属合金·····	376
37. 利用放射性示踪原子研究稀土加入剂对鋼的性能 的影响·····	387

1. 稀土元素（鐳、鈾、鐳、釷） 的脫氧能力

（蘇）Г.Кияне、А.Ф.Вишкарёв、
В.И.Явойский

热力学計算表明，鐳、鈾、鐳和釷是比鋁和鉛更强的脫氧剂，在一定条件下它們的脫氧能力与鈣及鎂的脫氧能力相近。

本文介紹了稀土元素脫氧能力的測定方法。在第一批試驗中采用了在文獻中多次敘述的，在蒸汽-氫的气氛中研究鉄-氧-稀土元素的平衡的方法。熔煉分別在不同耐火材料（ Al_2O_3 、 ZrO_2 、 MgO 及 BeO ）制成的坩堝中进行。为了获得熔煉所需的低氧化势（ $P_{H_2O}/P_{H_2} \approx 10^{-5}$ ），在温度为 $0^\circ C$ 左右时，通氫于 $LiCl$ 的饱和溶液上，然后以氫来冲淡此气体混合物^①。熔煉采用了高純度的还原鉄（99.99%Fe）。当金属达到規定温度后，在氫的气氛中靜置 30 分钟，然后在不破坏系統密封的情况下，加入稀土元素，并用可控制的氧化势的气氛（采用蒸汽-氫气平衡法时）或用氫的中性气氛（采用間接方法試驗时）来代替还原性气氛。

試样中的稀土元素含量用光譜法及光譜化学法測定；氧含量用分馏分析法測定。电解分离出的脫氧产物用 X-光射綫照相和金相磨片进行了研究^②。

为了确定氧在液态鉄中的活度和硅的脫氧能力，預先进行了熔煉試驗。获得的結果与文獻的資料吻合。因此，可以証实試驗裝置的工作是可靠的。对測定鈾与鐳在蒸汽-氫的气氛中脫氧能

① 这样， P_{H_2O}/P_{H_2} 值可达 10^{-5} ，甚至 10^{-6} 。

② 此句原文为“用金相磨片对电解分离和 X-光射綫照相分离出的产物进行了研究。”——譯者注

力的結果的整理表明，上述元素在液态鉄中与氧相互作用的平衡常数与温度的关系可用下列方程式表示：

$$K'_p = [a_{Lr}]^2 [a_O]^3, \quad \lg K'_p = -\frac{56300}{T} + 11.09; \quad (1)$$

$$K'_p = [a_{Ce}] [a_O]^2, \quad \lg K'_p = -\frac{56200}{T} + 17.82. \quad (2)$$

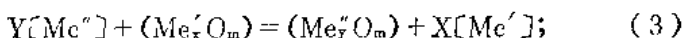
(假設在熔体中生成 La_2O_3 及 CeO_2)，这仅仅是初步的数据，因为試驗点很分散。由于金属和坩埚材料的相互作用，所以要根据熔体表面氧化膜的出现来确定金属与气体达到平衡的时间是困难的。此外，在蒸汽-氢的气氛中要达到平衡也是困难的，因为金属中的稀土元素含量在熔炼过程中迅速减少，并且与其加入量的大小无关，甚至达到金属重量的 5% 时也是如此。

稀土元素在金属中的迅速减少可能与这些元素或其氧化物的蒸发，或与稀土元素还原耐火材料有关。化学分析与 X-射綫結構分析結果表明，在加镧与铈的鋼的升华物中没有发现这些元素数量的增加，这与稀土元素在液态鉄中蒸汽压的热力学計算結果相符。

然后，用宏观及化学、光譜和 X-射綫結構分析法研究了熔炼后的耐火坩埚。确定 SiO_2 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 及 BeO 制成的坩埚也被还原。X-射綫結構分析发现，坩埚与金属接触的表层富集了稀土元素的氧化物及其化合物，如 La_2O_3 、 $BeLaO_4$ 、 $LaAlO_3$ 、 Nd_2O_3 、 CeO_2 及 Ce_2O_3 (根据加入金属中的稀土元素及使用的坩埚材料而定)。平衡計算表明，消耗于还原坩埚耐火材料的稀土元素加入量与从坩埚材料中还原的元素量之間有直綫关系。

对稀土元素与各种氧化物的相互作用进行了研究后，可以得出如下結論：稀土元素具有能很容易使 Al_2O_3 、 ZrO_2 及 BeO 型氧化物还原的那样大的与氧的亲合力。图 1-1 示出在 Al_2O_3 坩埚中及氩气氛下进行熔炼的典型測定結果。專門的熔炼表明，当稀土元素还原各种氧化物时，經過一定的时间 (根据坩埚材料不同此时间波动在 15—25 分钟的范围內)，金属与坩埚之間达到平

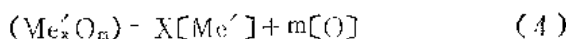
衡。由此，建議用間接法研究化学活性元素（包括稀土元素在內）对坩埚耐火材料的脫氧能力。这种方法是在确定下面的平衡常数的基础上获得的：



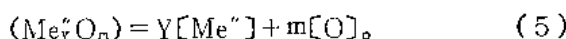
其中 Me'' — 有关的稀土元素；

Me'_xO_m — 組成坩埚材料的氧化物。

綜合反应的結果从下式



可以决定下式的平衡常数



無論在蒸汽-氢气中計算，或用間接法計算稀土元素的脫氧能力时，必須准确地知道脫氧产物的組成。电解析出的沉淀物基本上由稀土氧化物所組成。各种稀土氧化物的沉淀物具有典型的不同顏色

（加鐳——雪白色，加鈾——灰白色，加釷——淡紫色，加鐳——綠色）。

根据文献資料，这些顏色分別为 La_2O_3 、 CeO_2 （或 Ce_2O_3 ）、 Nd_2O_3 及 Pr_2O_3 的特征。在所进行的分析的基础上可以說，鐳、鈾和鐳在液态鉄中氧化时組成 La_2O_3 、 Nd_2O_3 及 Pr_2O_3 的化合物。可以推論，金属中加鐳时形成的氧化物的化学成份取决于熔炼的条件。当金属中含有过量的氧或金属与較不稳定的氧化物（ SiO_2 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 ）相接触时，会优先形成 CeO_2 夹杂物。如果金属中氧的浓度很低或金属与由热稳定的氧化物（ BeO 型）組成的耐火材料相接触时，可以推測会形成 Ce_2O_3 。这种推測証实了在各种坩埚中熔炼时稀土元素是处于平衡状态的。

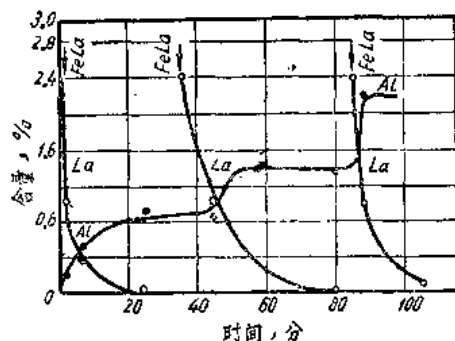


图 1-1 熔炼的测定

在顯微鏡下觀察時，鈾的氧化物在暗視場中呈鮮寶石紅色，鏷的氧化物呈黃-玫瑰紅色，釷的氧化物呈灰-黃-綠色，鐳的氧化物呈黃-綠色。

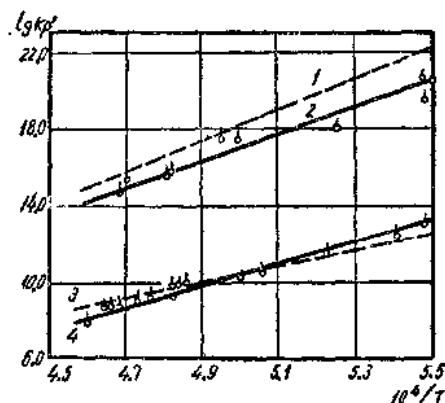


图 1-2 用鏷、鈾脫氧的平衡常数与温度的关系

$$1 - \lg K_{L,a} = -\frac{77300}{T} + 20.79 \text{ 計算值};$$

$$2 - \lg K'_{L,a} = -\frac{62050}{T} + 14.10 \text{ 試驗值};$$

$$3 - \lg K_{C,e} = -\frac{45500}{T} + 12.60 \text{ 計算值};$$

$$4 - \lg K'_{C,e} = -\frac{53750}{T} + 16.70 \text{ 試驗值}$$

当用間接法測定稀土元素的氧化能力時，熔煉在用 Al_2O_3 制成的坩堝中進行，在液態鐵中生成 Al_2O_3 的熱力學函數可從文獻中查出。鏷和鈾的脫氧能力的測定結果示於圖 1-2。若氧化產物為純固相，則在計算中鋁及稀土的氧化物的活度系數便能採用相同的單位。鏷與鈾氧化過程的平衡常數與溫度的關係用下列方程式表示：

$$K'_P = [a_{L,a}]^2 \times [a_O]^3; \quad \lg K'_{L,a} = -\frac{62050}{T} + 14.10; \quad (6)$$

$$K'_P = [a_{C,e}] \times [a_O]^2; \quad \lg K'_{C,e} = -\frac{53750}{T} + 16.70; \quad (7)$$

$$K'_p = [a_{ce}]^2 \times [a_o]^3; \lg K'_{ce} = -\frac{76000}{T} + 21.00. \quad (8)$$

为了评价铈和镨的脱氧能力，只进行了几炉熔炼。因此，面临的课题是评价这些元素的脱氧能力和确定这些元素在脱氧时的行为和镧、铈有多大程度的相似。当整理试验数据时（图 1-3、1-4），获得的镨与铈脱氧过程平衡常数与温度的关系如下：

$$K'_p = [a_{Nd}]^2 \times [a_o]^3; \lg K'_{Nd} = -\frac{61000}{T} + 13.43; \quad (9)$$

$$K'_p = [a_{Pr}]^2 \times [a_o]^3; \lg K'_{Pr} = -\frac{64500}{T} + 14.96. \quad (10)$$

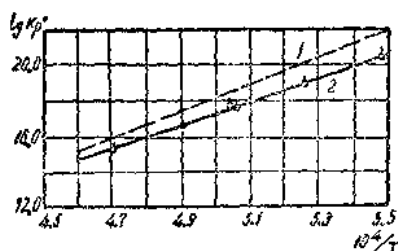


图 1-3 用铈脱氧的平衡常数与温度的关系

$$1 - \lg K'_{Pr} = -\frac{73000}{T} + 21.50 \text{ 计算值};$$

$$2 - \lg K'_{Pr} = -\frac{64500}{T} + 14.96 \text{ 试验值}$$

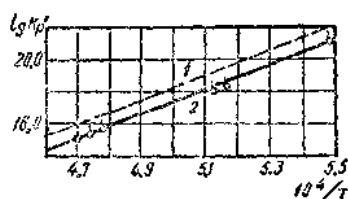


图 1-4 用铈脱氧的平衡常数与温度的关系

$$1 - \lg K'_{Nd} = -\frac{76100}{T} + 19.50 \text{ 计算值};$$

$$2 - \lg K'_{Nd} = -\frac{61000}{T} + 13.43 \text{ 试验值}$$

在试验数据的基础上曾试图估计与一定浓度的稀土元素相平衡的氧含量的百分数。这样用镨脱氧的反应平衡常数可用下列方程式表示：

$$K'_p = [\% \text{Ce}]^2 (f_{\text{Ce}}^{\text{O}})^2 [\% \text{O}]^3 (f_{\text{O}}^{\text{O}})^3. \quad (11)$$

f_{Ce}^{O} 量可以采取相等的单位，而 $f_{\text{Ce}}^{\text{O}} \sim f_{\text{O}}^{\text{O}}$ ，因为根据试验条件溶于液态铁中的镧、铈和氧成三元平衡存在。 f_{O}^{O} 值采用文献中

的数据。由 1600°C 时氧含量与镧含量的关系可看出，氧的平衡浓度，甚至在镧含量很低时，也是很低的：

[%La]	10^{-6}	10^{-5}	5×10^{-5}
[%O]	4×10^{-3}	8.78×10^{-4}	4.60×10^{-4}
[%L ₂]	10^{-1}	2×10^{-1}	5×10^{-4}
[%O]	3.23×10^{-4}	5.77×10^{-4}	3.30×10^{-3}

显然，当镧的含量超过一定极限时，发现在氧的活度下降的同时，氧的平衡浓度会随着提高，这与其它元素脱氧能力的文献

数据相符。其它稀土元素亦与此相似。应该指出，具有首要意义的不是氧的浓度，而是氧的活度，因为活度能说明氧在熔体中状态的特性，并能决定它在各种反应中的行为。稀土元素脱氧能力的比较表明，在这方面，它们是相似的。

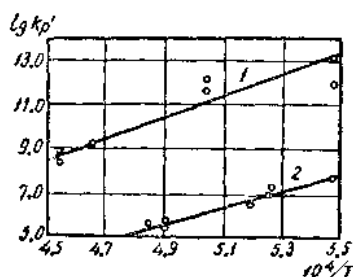


图 1-5 用铍、锆脱氧时的平衡常数与温度的关系

$$1 - \lg K'_{Zr} = -\frac{47500}{T} + 12.82;$$

$$2 - \lg K'_{Be} = -\frac{40100}{T} + 14.15$$

上述寻求氧的亲力的间接方法，也可以用于测定炼钢生产中所应用的具有化学活性的其它元素的脱氧能力。我们曾试图根据在 ZrO_2 及 BeO 坩埚中加镧、

铈熔炼铁的结果来估价铍和锆的脱氧能力。计算结果列于图 1-5。根据所获得的数据，确定了下列用铍及锆脱氧过程平衡常数与温度的关系：

$$K'_F = [a_{Be}][a_O]; \lg K'_{Be} = -\frac{40100}{T} + 14.15; \quad (12)$$

$$K'_F = [a_{Zr}][a_O]^2; \lg K'_{Zr} = -\frac{47500}{T} + 12.82. \quad (13)$$

应该指出，用镧或铈还原 BeO 的间接法所得到的脱氧能力的的数据，是完全吻合的。

試驗結果表明，稀土元素是強烈的脫氧劑，比鋁及鎢^①更強。試驗結果與這些元素脫氧能力的熱力學計算完全吻合。

(譯自《Изв. Вузов. Черн. Металлургия》1963,
№ 5. 65—69 頁)

① 原文为 Церий 恐为 Иридий 之誤。——譯者注

2. 稀土元素对氢在鉄水中 溶解度的影响

(苏) Л.М.Якушев、В.И.Явойский、
Ю.В.Кряковский

关于稀土元素对溶于鋼中的气体（尤其是氢）的行为的影响问题是关系到稀土元素在冶金中应用的最重要問題之一。从文献資料中已知稀土元素对这种气体有极大吸附能力。例如，在800°C下，鈾能溶解 14500 毫升/100克氢，而鋼則能溶解 14300 毫升/100 克氢，約为同温度下氢在鉄中溶解度的 5700 倍；在 1200°C 时鈾所能溶解的氢为鉄的 660 倍。因此，甚至在鋼中加微量的稀土元素，也可望它会与溶解于鋼中的氢相結合，从而消除氢的有害作用。

在鎂合金中也发现稀土元素的类似作用，在这种合金中加少量的鈾会促使鑄件致密化，并消除鑄件中的气孔。关于稀土元素对鋼中氢的行为的影响方面，几乎没有实际的数据。从 Н.С.Крестьяновский 及其同事的报导中可知，在鋼中加少量的鈾可降低其氢含量 70% 以上。但这些数据尚需进一步验证。

因此，本文作者进行了关于鈾組稀土元素（鈾、鐳、鐳和釷）对氢在液态鉄中溶解度影响的研究。

試 驗 方 法

为了进行研究，制作了原理上与 В. И. Лакомский 和 В. И. Явойский 所使用的装置相同的装置（图 2-1）。試驗是在系統中氢的压力为 30—41 毫米水銀柱的情况下进行的。将重 80—90 克的鉄試样在置于石英反应器中的刚玉坩埚內，用高频电流进行熔化。用預真空泵及水銀扩散泵从系統中将空气抽出并用

ВИТ-1 型真空計检查所达到的真空度。金屬的溫度用 ОПИР-09 型光学高溫計測量，其刻度按純鐵和鎳的熔点定出。

借助于附有压力計的标准瓶測量通入系統中的氫的体积；此时誤差为 0.4%。

試驗时，系統中的压力用准确度为 0.05 毫米水銀柱的 Мак-Лонд 压缩式压力計測量。系統中設气压計管，以校正 Мак-Лонд 压力計，因为考虑到在測量时系統中的压力对压力計讀数有影响（校正压力計的方法是：在測压时于压力計的水銀柱高度上加上借助气压計管測得的系統中的压力。这样，根据測量 50 次以上的数据，便能繪制出校正曲綫）。由于試驗中的压力数值很重要，所以有必要进行这种校正。

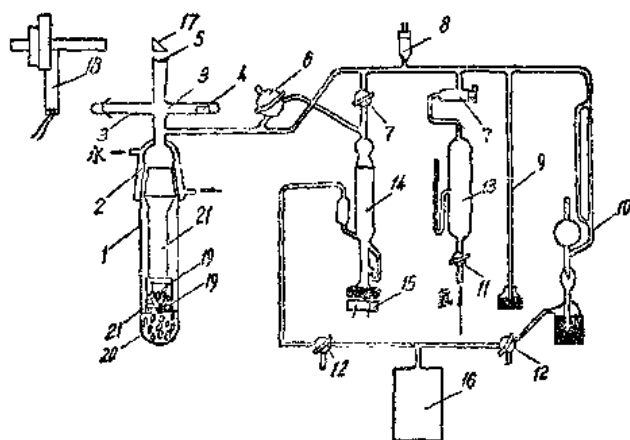


图 2-1 研究氢在液态铁及其合金中溶解度的裝置图：

1—石英容器；2—反应器头部；3—为今后加入物的头部支管；4—磁坩埚送料器；5—真空孔玻璃；6—装料閥門；7—真空閥門；8—气压計管；9—压力計管；10—Мак-Лонд 压力計；11—真空閥門；12—扩散閥門；13—附有压力計的标准瓶；14—水銀膨胀装置；15—扩散泵加热器；16—标准瓶；17—投料；18—光学高溫計；19—石英坩埚；20—钢坩埚；21—石英坩埚。

众所周知，稀土元素在室温时已开始吸收氢。因此，設計了專門的装料閥門 6，以便在熔炼过程中投进加入物时，避免它与

設備內的气氛長期接觸（圖 2-2）。當閥門 1 處在位置 I 時，通過閥門的支管 5 進行加料，將加入物置於《料箱》2 中。在位置 II 時，通過與擴散泵連接的支管 6 從《料箱》中抽去空氣。在位置 III 時，加入物由《料箱》中倒出並落入設備中。當系統與閥門連接好，系統內壓力降低很少（0.15 毫米），這在計算時已作了考慮。為了在倒出加入物時避免料箱與閥門的密封油相接觸，故它帶有一根由金屬箔制成的導管 3，並將閥門的支管 7 的底面加大。為了同樣的目的，加入物是通過紙管 4 裝入《料箱》的。

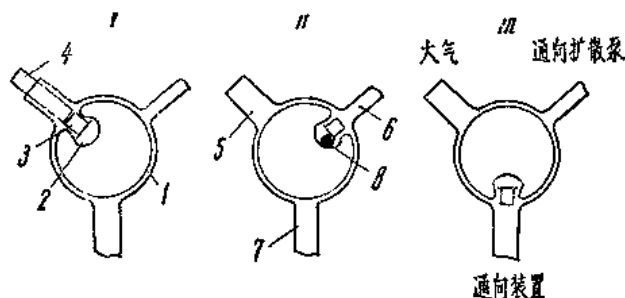


圖 2-2 借裝料閥門加合金劑的示意圖

淨化由啟普氏（Киппа）發生器中獲得的氫，方法是：先使氫通過 NaOH 溶液、重鉻酸鉀的硫酸溶液、然後通過裝有 P_2O_5 的吸收管、鈹催化劑，最後重新通過裝有 P_2O_5 的吸收管。

試驗中使用了預先在真空中重熔並加 0.03% 碳，以及用 0.03—0.04% 鋁脫氧的阿姆克鐵。在真空中重熔後，鐵具有下列成份： $\leq 0.04\% C$ 、 $0.014\% Mn$ 、Si 為痕跡、 $0.034\% S$ 、 $0.006\% P$ 、Cr 為痕跡、 $0.17\% Ni$ 、 $0.15\% Cu$ 及 $0.006—0.015\% O$ 。

開始時：將系統在冷狀態下抽空至壓力為 $5—6 \cdot 10^{-3}$ 毫米水銀柱。然後，繼續抽空，並將金屬逐漸加熱至 $1000^\circ C$ 。當壓力達到 $8 \cdot 10^{-3}$ 毫米水銀柱時，在熱狀態下用氫沖洗系統，因而縮短了預抽空的總時間。繼續將系統抽空至壓力 $5—6 \cdot 10^{-3}$ 毫米水銀柱

后，再向系統內通入氫并熔化金屬。氫在系統中靜置15—20分鐘后从系統中抽出；此時熔融金屬处于高真空下不超过3—5分鐘。然后将金屬冷却直到凝固，并繼續抽空15—20分鐘。經過对鉄的这种处理，向系統內送入經測量过的氫，并将金屬熔化到預定溫度，同时用Мак-Лонд压力計測量压力。在坩堝中建立了平衡压力后，必要时，可投入合金加入剂，每次加入后均使系統靜置到达新的平衡压力。

使用真空重熔的純鉄和上述脫氧法，便能促使液态金屬在反应容器中进行真空处理的时间縮短到最少。这样便提高了試驗的准确度，因为降低了蒸发量和在坩堝壁及鉄屑上的凝結量。

为了驗證在設備中所获得的結果的可靠性，曾测定了氫在純鉄中的溶解度，并再一次地测定了硅对氫在液态鉄中溶解度的影响。

在已知的溫度及确定的最終压力 P_k 下溶于金屬中的氫的体积可按下式計算：

$$S' = V_0 - \frac{P_k V_r}{760} \text{ 毫升}$$

其中 V_0 ——通入系統內的氫的体积（換算成标准狀況下的体积）；

V_r ——系統在热态下的体积。

氫的溶解度（換算成在压力为760毫米水銀柱下的100克鉄所吸收的体积）根据 S' 按下列方程式計算：

$$S_k = \frac{S' \cdot 100}{g} \sqrt{\frac{760}{P_k}} \text{ 毫升/100克}$$

其中 g ——金屬重量。

为了測定裝置在液态下的体积，曾在氫的气氛中进行了鉄的熔化和在氫及氫的气氛中进行了鋁的熔化和加热。根据鋁和氫及鋁和氫測出的热态体积实际上是相同的（在金屬溫度为1160°C时，分别为716.5及712.5毫升；而 V_r 的数值則稍有差別，这显然是因鋁吸收氫較少所致）。因此，在測定 V_r 时氫是氫的最可貴的

代用品。同时，根据鉤来测定热态体积可得到較高的 V_r 值，因固态鉤較同溫度下熔融的鉄的热为少。

因此，应认为根据氫和熔融的鉄来测定热态体积是最正确的。在我們的試驗中，1560°C 时所测出的热态体积为 698.5 毫升。所引用的 V_r 数据是测定 7—9 次的平均值。各 V_r 数值之間的差別不超过 1%。按此 V_r 值求得在 1560°C 下氫在鉄中的溶解度为 27.45 毫升/100 克（测定 10 次的平均值；溶解度的各个数据均在 28.15—27.00 毫升范围内）。根据借助于鉤和氫测得的 V_r 值計算出的溶解度为 23.0 毫升/100 克。

为了确定硅对氫在鉄中的溶解度的影响，使用了在 800—900°C 下真空脱气的結晶硅。試驗結果与其它研究者所得的数据完全吻合。

上述情况証明装置的工作是十分可靠的，从下面的檢驗也可得到进一步証实。在系統中确定了平衡压力后，我們在一定溫度下，在 2—3 小时內反复 2—3 次将金属冷却到結晶，而后再重新熔化。最后将金属加热到原始溫度，并在系統中建立最初的压力。

研究中所采用的稀土元素是含 25% 和 80% 稀土元素（Ce、La、Pr、Nd）的鉄合金。合金預先在真空中重熔。此时，液态熔体在由 Al_2O_3 或 ZrO_2 制成的坩堝中，在 $7-5 \cdot 10^{-3}$ 水銀柱的負压及稍高于合金熔点的溫度下，靜置 20—30 分钟。然后将合金破碎成块，其块度以能通过加料閥門为准；这些合金块儲存于真空中。合金在加入試驗装置中前，应先直接从真空容器中将它取出，然后用砂輪治理其表面。此外，在个別的試驗中，使用了含 4—6% 鈾和鈹的合金及在真空中熔化的鉄与米什合金的合金。

在有一炉的熔炼过程中，往装有熔融鉄的坩堝內投入一种到四种合金加入剂。当加入剂投入坩堝时，金属表面被一层薄膜盖上（显然是氧化膜）。这就降低了測量金属溫度的准确度，有时甚至使測量不可能进行。在此情况下，曾采用了使发生器的工作制度保持在同一水平上的方法来使金属溫度不变。

已确定，生成的氧化膜并不会使氢的吸收和从金属中的逸出显著减慢。为了说明这一点，将发生器的功率稍稍降低；此时金属便会凝結，而且由于氢的逸出，使系统中的压力增加。最后，熔化金属，经过 3—4 分钟，系统中的压力便回复到原来的数值。

試驗是在金属温度为 1570—1595°C 时进行的。总共进行了 50 炉以上。

研 究 結 果

試驗确定，在熔融的铁内加含铈和钕較低的合金（5.7%Ce 和 4.1%Nd）时，按計算并不会引起系统中压力的变化（此时，加在铁中的稀土元素已达 0.1—0.15%）。

由图 2-3 δ 、 ϵ 、 δ 可看出，在铁中加含镧、钕及铈量較高（80%）的合金时系统中氢的压力变化特性（图 2-3 和其它图上所示出的曲綫图是含上述稀土元素炉号的典型曲綫图）。在加入后最初 1—3 分钟内，系统中的压力稍有降低。随后，在 15—30 分的时间內，发现压力緩慢上升。与此同时，往铁中投入硅时，經 2—4 分钟后便建立了新的平衡压力。这一事实說明，在加稀土元素的情况下，与加入元素浓度提高有关的氢的溶解度降低，并不会引起压力的增加，压力的增加是由某种附加現象所引起的。

当加 25% 稀土元素的合金时，在两次加入之間，压力的增加并不显著，而在投入加入剂时經常不出现压力下降。

当加入剂为含 80% 稀土元素的合金时，每次往金属中投入 0.4—0.8% 稀土元素，而当加入剂为含 25% 稀土元素的合金时，則每次投入 0.12—0.25%。

熔炼后对坩堝的檢驗表明，在熔炼时，坩堝与含有稀土元素的金属发生相互作用。为了說明坩堝在压力变化中的作用，曾在 ZrO_2 的坩堝中及在还原性气氛中焙烧过的 $Al_2O_3 + 1\% TiO_2$ 的坩堝中进行了熔炼。在这两种情况下，压力变化的特性仍与以前相同。