

钢中气体、 非金属夹杂物 及 碳化物的分析

上 册

Ю. А. 克里雅奇科 等著

冶金工业出版社

鋼中气体、非金屬夾雜物 及碳化物的分析

上 册

И.А. 克里雅奇科 А.Г. 阿特拉索夫 М.М. 沙比罗 著
黃舞華 羅士鶚 譯 陳樹昌 校

冶 金 工 業 出 版 社

Ю. А. Клячко, А. Г. Атласов,
М. М. Шацко
АНАЛИЗ ГАЗОВ,
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ
ВКЛЮЧЕНИИ
И КАРБИДОВ В СТАЛИ
鋼中气体、非金属夹杂物及碳化物的分析
黃舞華 羅士驊 譯 陳樹昌 校

— * —

冶金工业出版社出版(北京市磁市口甲 45 號)
北京市書刊出版業營業許可証出字第 093 號
北京五三五厂印 新华書店發行

— * —

1959 年 6 月第一版
1959 年 6 月北京第一次印刷
印數 6,300 冊

850×1168•1/32•250,000 字•印張 9 $\frac{30}{32}$

— * —

統一書號 15062•1473 定價 1.20 元

本书总括地探讨了黑色金属中气体、非金属夹杂物及碳化物的测定法。叙述了金属中气体、非金属夹杂物及碳化物的定性和定量分析法（测定气体的真空抽取法，测定非金属夹杂物及碳化物的电化学法等等）。在每一篇篇末，都有专门的章节叙述辅助操作和实验技术，并详细地介绍了有关分析的进行过程。

本书共三篇，计十七章。中译本分上下两册出版。上册为第一篇“气体的分析”，下册包括第二篇“非金属夹杂物的分析”和第三篇“碳化物的分析”。

本书供工厂试验室及研究所的工程技术人员阅读。

本书上册译文由陈树昌同志校阅。

目 录

第一篇 鋼中气体的分析

第一章 金屬中的气体	7
第一节 气体与金屬相互作用的基本规律	7
第二节 气体对金屬性質的影响	15
第二章 液态鋼中气体的測定	20
第一节 液态鋼沸騰时析出气体之測定	21
第二节 鋼錠凝固及冷却时, 从鋼中析出的气体的測定	27
1. И. И. 苏博琴法	28
2. А. М. 薩馬林和 J. M. 諾維克的方法	30
第三节 在真空条件下, 当鋼錠結晶及冷却时从鋼中逸出的气体的測定法	33
1. 巴拉杜克-穆列尔法	33
2. 阿明和維尔涅尔斯法	37
第四节 重量很大的鋼錠, 在結晶过程中从鋼內析出的气体的組成的測定	42
第五节 从隔离的液态鋼样中自由逸出的气体的測定法	48
第六节 在真空度不大的条件下, 隔离的液态鋼样品冷却及凝固时析出气体的測定法	50
第七节 液态鋼中气体的快速測定法	55
1. А. М. 薩馬林法	56
2. 中央黑色冶金科学研究所 (ЦНИИЧМ) 的方法	62
3. П. С. 列別傑夫法	70
4. Н. М. 崔科法	74
5. 盖尔, 別傑尔松和索列尔的方法	76
6. В. Т. 勃拉格法	78
7. П. С. 列別傑夫法 (使用陶瓷金屬接受器)	80
8. 液态鋼中气体快速測定法的总评价	82
第三章 固态金屬中气体的化学測定法	87
第一节 氧的測定	89

1. 鋁法 (盖尔契法)	89
2. 真空鋁法 (П.С.列別捷夫法)	97
3. 氢鋁法	98
4. 扩散鋁法	99
5. 氢法 (列傑布尔法)	102
第二节 氮的測定	113
1. 氮化物在酸中的溶解度	121
2. 碳素鋼中的含氮相	122
3. 鉻鋼中氮的測定	122
4. 盐酸定氮法	139
5. 稀硫酸定氮法	149
6. 过氯酸快速定氮法	141
第四章 真空熔融法測定金屬中的气体	149
第一节 方法原理及仪器概述	149
1. 由金屬样品中析出气体	149
2. 金屬升华物对抽取出的气体的吸收作用	156
3. 消除薄层的吸附活性	160
4. 真空熔融法測定气体的装置	161
第二节 真空熔融法測定金屬中的气体以 ЦНННЧМ 型仪器用	170
1. ЦНННЧМ 型仪器	170
2. 工作前仪器的准备	173
3. 仪器的开动	175
4. 仪器的去气	176
5. 仪器的操作步骤	177
6. 装試样	177
7. 空白校正值的測定	178
8. 金屬样品中气体的抽取	179
9. 在分析前样品的准备	179
10. 进行一組分析后仪器的清理	180
11. 分析結果的处理及记录	181
12. 样品中气体含量的計算公式	183
第五章 鋼中氢的測定	188
第一节 鉄和鋼中的氢	188

1. 鋼中氫的測定法	191
2. 低溫冷卻條件下鋼中氫的行為	192
3. 鋼錠結晶及冷卻時氫的析出	193
4. 樣品長期保存在室內條件下時鋼中氫的行為	196
5. 在加熱或恒溫的條件下將樣品保存在通常的大氣中或真空中時金屬中氫的行為	199
6. 液態鋼中氫的測定	205
7. Ю. А. 克里雅奇科教授設計的用真空加熱法測定鋼中氫的裝置	215
8. А. Н. 莫羅佐夫設計的用真空加熱法測定氫用的 ЛНН (列寧格勒工學院) 型儀器	219
9. 繆依爾儀器	224
10. 簡化的真空加熱器	225
11. 真空加熱法的評價	227
12. 在真空中加熱鋼時從鋼中析出氫的充分程度	232

第二節 氧法或氧化法測定氫 237

1. В. И. 雅沃依斯基氧法定氫	238
--------------------	-----

第六章 氣體分析的技術及一些工作方法 243

第一節 氣體分析的技術 243

1. 通常的氣體分析 (常量分析)	244
2. 氣體混合物的各個組份及其吸收劑	245
3. 通常氣體分析時氣體的燃燒	252
4. 通常分析 (常量分析) 用的氣體分析儀	258
5. 氣體的半微量分析	259
6. 含甲烷的氣體的半微量分析	265
7. 氣體的微量分析	269
8. 氣體微量分析儀中使用的真空計微量分析儀的工作原則是 則是在校準過的容積中測量氣體的壓力	274
9. 應用固體吸收劑進行氣體的微量分析	286
10. 用低溫凝聚法進行氣體的微量分析	290

第二節 一些工作方法 294

1. 真空密封劑 (塗脂)	294
2. 汞的淨化	297

3. 玻璃的潔淨.....	301
4. 流出來的汞的收集.....	301
5. 壓縮氣壓計的標度.....	302
6. 按綫性法對三級氣壓計標度.....	303
7. 按平方法對壓縮氣壓計標度.....	305
8. 真空系統內各段容積的測定.....	306
参考文献	307

緒 論

第十九次党代表大会关于发展苏联經濟第五个五年計劃(1951—1955年)的指示中指出,为了机械制造的需要,必須改善特种鋼和合金的質量。摆在一切工业部門面前的任务是进一步提高产品质量,采用符合现代技术要求的国家标准。

对提高鋼的質量來說,其中的一个要求就是要降低鋼中夹渣及气体的含量。为此就必须探討并采用較现代化的检定鋼中夹杂物的方法。对某些特种鋼來說,还要检定碳化物的組成,有时也要检定金屬間化合物的相的組成。

鋼中夹杂物的分类有多种不同的分法。其中最主要的是按性質、成因及形状来划分,也有按测定法相同来分类的。但上述的每一种分类法在三种夹杂物之間都有其異同之处。

鋼中的气体夹杂物或气体,指的是以任何形式存在于金屬中的一些元素(氢、氧、氮),这些元素在通常条件下都是簡單的气体物質。其中也包括那些在鋼中生成的但不溶于鋼中的复杂气体(CO , CO_2 , CH_4 等)。除了个别的情况,例如特意将不多量的氮加入鋼内等情况外,金屬中气体的含量一般很少(由万分之几到十分之几,重量百分数)。

鋼中的氧及氮多半成渣状,或者換句話說就是非金屬的固体夹杂物,夹渣中除了氧和氮外,还含有其它一些非金屬元素(硫、磷)以及金屬元素。夹渣的性質与气体夹杂物一样,它們都是由于金屬在制造及加工过程中,和其周围介質相互作用,以及在熔融物內部发生化学反应而形成的。按照这类杂质所处的形态來說,其特征是由許多分散的质点所組成,并且是鋼内許多分散相中的一个。固体非金屬夹杂物是主要气态元素存在于鋼中的一种形式,因此其量与可溶性的气体量是并列的数据。所以夹渣应算作金屬中的小杂质。

碳化物(以及金屬間化合物)不能認為是鋼中的杂质,因为

它是組成鋼的主要元素之一（碳）以及其它合金元素的存在形式。这种杂物的数量通常比气体及夹渣的量要多得多，一般为百分之几十（重量百分数）。碳化物夹杂物，只有在奥氏体类的鋼中才被看作杂质；在其他类型的鋼中，它是合金的主要相之一。将碳化物与夹渣联系起来看，則碳化物同样也是金屬的連續分散介質中的分散相，也就是說，碳化物存在于鋼中的形式与固体非金属夹杂物所处的形式类似。此外，按其物理化学性質來說，碳化物應該看作是介于离子型的非金属物質及电子型的金屬化合物間的一种物質。

夹杂物的測定法也是基于上述鋼中夹杂物的特性而来的。既然气态夹杂物被認為是氧、氢及氮的夹杂物，而不管其在鋼中以什么形式存在，所以它的測定法就屬於元素分析的范畴。这种分析并不考虑元素化合态的差別，而仅設法将其轉变成易于分析的形式^①，力求准确地測定每一元素的总量。例如当分析鋼內气体时，便将金屬中所含的全部氧或是轉化成 CO（真空熔融法），或是轉化成水（老式的氢法）。

測定鋼中的夹渣及碳化物，就必須首先将这些相由分散介質——金屬相中分离出来，因而就屬於相分析的范畴。分析的中心任务就在于解决相的分离問題，研究出如何将这一相与其他的相完全隔离的方法，特别是将分散相与分散金屬介質分开，然后才是分散相彼此之間的分離。

鋼中气体及固体非金属夹杂物的分析法，彼此間部分起校核作用，而部分則彼此相互补充。例如，氧及氮的測定結果虽不必完全吻合，但也應該相差不远。对氧來說，气体測定法不仅可給出固体氧化物中該元素的数量，而且还可給出混入鋼內的气态氧化物中的氧量（譬如沸騰鋼中的一氧化碳）；但是固体非金属夹杂物的測定法却不能測出气体夹杂物中的氧量；不但如此，而且

① B.A. 什曼列夫，H.Φ. 列維和 Г.А. 克列美索夫等曾不止一次地企图用气体分析法来分部測定氢，但由于气体由固体金屬中扩散出的过程的特性，該企图目前仍未获得成功。

該方法还常常会引起部分化学稳定性差的固体夹杂物（例如低碳鋼中的 FeO 及 MnO ）的损失。对氮來說（当它成为铝、钒、钛等的稳定的氮化物而存在于鋼中时），气体分析法的結果却偏低。因此上述的这些方法是彼此补充的，如果我們能將所得結果的大小之間的比例关系一下評比，还可粗略地校核測定結果。当然氢是例外的，它的含量是只能用气体分析法来測定的。

如果鋼中的各种夹杂物含量很少，那就必須采用化学分析法：气体和夹渣的測定屬於微量分析范畴，而碳化物夹杂物的分析則是常量化学分析。大家知道，微量分析的操作技巧与通常的化学分析不同，要求使用微量分析天平、微量气体分析仪以及采用离心分离法及有关的各种化学器皿等。

对分析鋼中的杂质而言，除了用化学分析法（利用特殊的化学反应分离及測定之）外，还可以用不需进行特殊化学反应的物理分析法。但是所有測定夹杂物的純物理法都是定性的，最好的也只是半定量而已。例如可以用金相显微鏡測定非金屬夹杂物，用X射綫結構分析法測定碳化物及非金屬夹杂物，用磁力測定法測定碳化物等。但所有这些方法都只能肯定夹杂物的性質，而不能准确地測定出它是鋼中的含量。最好将夹杂物的物理分析法与化学分析法配合起来。因为物理分析法通常能比較全面而且可靠地对鋼内的分散相作出定性的鑑定，而化学分析法則能作进一步的定量測定。

虽然在精鉄及搅鉄中固体非金屬夹杂物的含量无疑地是很高的，但人們却很晚才知道鋼中夹杂物的作用。从前認為鍛造能除去这些夹杂物。M. 罗蒙諾索夫在他那本出色的著作“冶金学或矿物学的初步原理”（1763年）中就讀到关于熔渣的去除問題。M. B. 罗蒙諾索夫是給金屬确定經典定义的学者，这个定义就是区分金屬和非金屬夹杂物的基础。167年以后瑞典的研究者K. 边涅傑克斯及X. 列弗克維斯脫在一篇关于鋼及鉄中非金屬夹杂物的論文中也下了类似的定义。M. P. 罗蒙諾索夫給金屬下了这样一个定义：“金屬是一种可以鍛造的光亮物体”。在十八世

紀，英國所消耗掉的金屬，三分之一以上（兩萬八千噸鐵）是由俄國輸入的，這就證明了當時俄國出產的鐵的質量是很高的^[1]。其原因與其說是由於將夾渣去除得干淨，還不如說是這些夾雜物（硅酸鹽及氧化亞鐵）的性質有利於熟鐵質量的提高；至於氣體夾雜物，那末總的來說由於制取金屬的溫度低。氣體在鐵中的溶解度就要小，故而是不會含得太多的。當時還不知道測定夾雜物的方法。

夾雜物的測定法是在1831年第一次由И.И. 艾諾索夫提出的，他是在金相學中用顯微鏡來進行研究工作的創始人。他在他的那本著名的著作“論大馬士革鋼”中敘述了他的實驗結果。在這些實驗中，他第一次觀察到了過共析鋼中碳化物的析出情況。

在1867年，著名的俄國金相學家H.B. 卡拉庫茨基在研究鋼制工具時第一次指出：鋼錠含有空隙，這是“金屬熔煉時吸收的氣體析出後留下的”^[2]。此後關於鋼中氣體的問題就引起極大的注意，因為當用貝氏爐及馬丁爐煉鋼時，必將升高金屬的溫度，特別是在貝氏爐中，這就增加了氣體在金屬中的溶解度，從而出現了由此而產生的一切後果——多孔，固體非金屬夾雜物含量增加等。

在1878年，偉大的俄羅斯冶金學家Л.К. 切爾諾夫對硬化鋼錠中的蜂窩（氣孔）缺陷的形成機構進行了研究，他的理論已為許多現代的實驗結果所証實了。

Л.К. 切爾諾夫的学生，傑出的俄國學者及冶金實驗家A.A. 爾茹蕭塔爾斯基進一步發展了用顯微鏡研究錠中夾渣及氣孔的方法。在“鐵、鋼及生鐵的顯微鏡研究”一書中，A.A. 爾茹蕭塔爾斯基指出鋼的顯微缺陷包括充滿夾渣的孔穴及蜂窩（氣孔）缺陷，並且刊出了照像圖^[3]。

除了顯微鏡研究法外，在這一時期研究夾雜物的化學法也有了發展。1882年A. 列傑布尔提出了氫法測定鐵中氧。在八十年代C.C. 蘇文斯基制定了鋼中氮的測定法。九十年代下塔吉爾工廠的工作者彼得·格拉德基研究了鐵中氧的含量。在1899年P. 維

謝列和 A. 罗曼諾夫第一个提出了在馬丁爐內熔炼时，各阶段鋼中氧的測定。也就是在这些年代中，許多研究工作者用化学方法从鋼中分离出了碳化鉄并測定了它的組成。

当时在此領域中的研究工作，主动权操在俄罗斯的研究工作者手中。在廿世紀的初叶，Г.Я. 維恩別尔格提出了几篇关于鋼中氧的論文报告，并且在此后的四十年內仍不断地加以研究^[4]。在 1909—1913 年，Б.В. 斯塔尔克进行了鋼中氧含量的研究；在这些工作中已使用了化学法来定氧。И.И. 茹柯夫^[5] 及 Н.П. 齐热夫斯基^[6] 同时仔細地研究了氮在鉄基金屬中的溶解度，并制定出在鉄基金屬中測定氮的方法。

这时，研究非金屬夹杂物的金相法在俄罗斯金相学家 М. 馬特維耶夫及 С. 施捷恩別尔格的傑出工作中得到了进一步的发展。

A.A. 巴伊柯夫^[7] 則研究了冶金过程的一般理論，解释了鋼中夹杂物的来源及組成。

然而只有在伟大的十月社会主义革命后，鋼中夹杂物的測定，夹杂物的性質及其对鋼的性能的影响等研究工作才具有广大的科学规模。

在列宁格勒，于 A.A. 巴伊柯夫的领导下，为了解决迫切的现实問題，創立并采用了分析非金屬夹杂物（氧化物及硫化物）的显微鏡法和电化学法（在 A.A. 巴伊柯夫领导下工作的有 Ю.Т. 魯卡舍維奇—杜凡諾娃，Г.Я. 維恩別尔格，С.М. 古特曼等）。在哈尔科夫，由 Н.В. 列維創立的学派（包括 И.В. 馬拉申柯，М.М. 沙比罗，И.И. 契波特凱維奇，А.Б. 古列維奇等）拟出了許多測定合金鋼中非金屬夹杂物的化学法与电化学法。参加上两学派研究工作的还有岩相学家，列宁格勒的 Б.В. 伊凡諾夫和哈尔科夫的 К.Г. 善迪巴，这就立即奠定了对夹杂物进行綜合研究的始基，而这样的研究也正是苏联科学的特点。在这些年代里（廿年代末期到三十年代初期），莫斯科的 Н.П. 齐热夫斯基及 П.С. 列別傑夫拟定了一系列的真空熔融測定鋼中气体（特別是測定氧）的物理化学分析法。这一研究方向后来在 М.Р. 哈利

統諾娃和 Б.А. 什曼列夫（中央工艺及机器制造科学研究所）的工作中得到了发展，他俩創造了用于測定鋼中气体的独出心裁的设备。同时莫斯科的 А.М. 薩馬林和 И.С. 列別傑夫以及第聶伯彼得罗夫斯克的 Н.М. 崔科也开始研究簡化的气体測定法。

在伟大的卫国战争以后，为了适应苏联冶金及机器制造工业需要的增长，这一分析領域开始更广泛地发展起来。其中，鋼内气体的測定以及新设备的設計发展得特別快。这里值得提到的有列宁格勒工学院的 М.М. 卡尔納霍夫及 А.Н. 莫罗佐夫的工作，他們研究了鉄合金吸收氢及氮的理論問題，并且創造了測定氢用的真空加热設備；此外，也还應該提到 Г.И. 雅伏伊斯基（烏拉尔工业学院），他对熔炼过程中金屬内气体含量的变化进行了研究。在設計測定鋼中气体的仪器及方法方面，Б.А. 什曼列夫及 В.А. 札宾娜作了很多研究工作。Н.Ф. 列維及 Г.А. 克列美索夫（烏克蘭金屬学院）对測定碳素鋼中氧及其它气体的各种方法进行了比較研究。

在非金屬夹杂物的分析方面，Н.Ф. 列維及 А.Б. 古列維奇及其同事做了很多重要的工作：如不稳定夹杂物（氧化亚鉄，氧化亚錳）的測定法，非金屬夹杂物的极譜測定法等。在1952年出版的一本专論中，Ю.Т. 魯卡舍維奇——杜凡諾娃總結了她多年来在研究夹杂方面的实验。Е. Е. 切布尔柯夫則对焊缝中夹杂的測定做了許多极有价值的工作。

最后，近年来对碳化物的分析已經开始研究，而且很快地发展了起来。在这个領域中，最有成效的是 Н.М. 波波娃及其同事的研究工作，她提出了用电化学方法从碳素鋼及不銹鋼中分离碳化物夹杂物，并且提出了分析的方法及仪器等。如果說在战前測定碳化物只有应用 X射綫相分析，那末在目前除了前法外还可以用定量化学分析法。

中央黑色冶金科学研究所（ЦНИИЧМ）在測定鋼内非金屬夹杂物、碳化物及气体方面，做了許多工作。

在鋼的相分析方面，苏联的科学占据着首要的地位。

第一篇 鋼中气体的分析

第一章 金屬中的气体

第一節 气体与金屬相互作用的基本規律

“金屬中的气体”是指那些含在金屬中，于游离状态时通常都是气体的物質。但在金屬中，它們却仅偶尔呈气态存在（“气泡”），大多数情况下，不是呈特殊的固相，就是渗入到金相組成中。

金屬中最常遇到的气体，簡單的有氧、氢及氮；复杂的有水蒸汽、二氧化硫、二氧化碳、一氧化碳及氨。

气体渗入到金屬中，主要发生在高溫冶金或电解制取金屬的过程中；在热处理或化学处理金屬时，如果这种处理並沒有特殊目的（把气体加到金屬中）的話，金屬吸收的气体是較少的。其間，进入金屬的气体，有的来自爐內的气体介质（氧、氮、一氧化碳、水蒸汽、二氧化硫等），有的来自爐料（溼物料中的水蒸汽、碳酸盐中的二氧化碳）以及那些在湿法冶金过程中与腐蚀时所使用的溶剂（水或酸中的氢）。

含在金屬中的气体有：（1）以气态夹杂物或气泡形式存在的；（2）以氧化物、氮化物、氢化物等固体化合物形式存在的；（3）以液态或固态溶液存在，亦即以原子状态分布于基体金屬的原子間或晶格中的；（4）吸附在金屬表面形成薄层的。

气体在液态或固态金屬中的溶解度主要取决于金屬上气体的

溫度及其分压。一般說来，气体在金屬中的溶解度随溫度的升高而增加，因为气体溶解在金屬中是吸热过程。溶解度与溫度的定量关系，可用下面的等压式（恒压曲綫式）来表示：

$$s = c \cdot e^{-\frac{Q}{2RT}},$$

式中： s ——气体在金屬中的溶解度，通常以 100 克金屬中溶解气体的立方厘米数表示；

c ——常数，其数值由所选择的測量单位决定；

e ——自然对数的底数；

Q ——气体的溶解热；

R ——通用气体常数；

T ——绝对溫度。

此方程式的对数式是一条直綫：

$$\ln s = \ln c - \frac{Q}{2RT}.$$

在恒压下，将气体在金屬中溶解度的对数值对 $1/T$ 繪图，那末从所得直綫的斜度就可求出溶解热，这里假設溶解热不随溫度的改变而变化。

若逐步增高溫度，金屬或合金发生多晶形轉变以及以后熔化时，发生吸热过程而吸收气体，其溶解度急剧增加。例如，在 700°C 时 α 同素異形体鉄，每 100 克吸收 1.8 毫升氢（气体压力为 760 毫米汞柱高），在 800°C 时则为 2.45 毫升；当 900°C 时，由于有 $\alpha-\gamma$ 的同素異形体轉变，氢的溶解度急剧增至 100 克金屬中能溶 4.7 毫升；熔化时，氢的溶解度飞跃地增加，每 100 克鉄吸收的氢从 14 毫升增加到 25 毫升。

图 1 所示的實驗数据，証实了这一点。在图的下半部繪出了镍、鉄、钴、銅的 $\log s$ 对 $10000/T$ 的关系；从鉄的吸收直綫上可以明显看出同素異形轉变时溶解度的突跃。

氮在鉄中溶解度与溫度的关系，也有类似的变化（图 2）。 α -鉄当溫度为 890°C 、压力为 760 毫米汞柱高时，每 100 克金屬

溶解1.6毫升氮,但当温度约900°C时。在同素异形转变后,氮压力不变的溶解度便飞跃地增加到20毫升;在 γ - δ 转变点,此时铁的结晶格子从面心立方重新转变为象 α 铁那样的体心立方格子,氮的溶

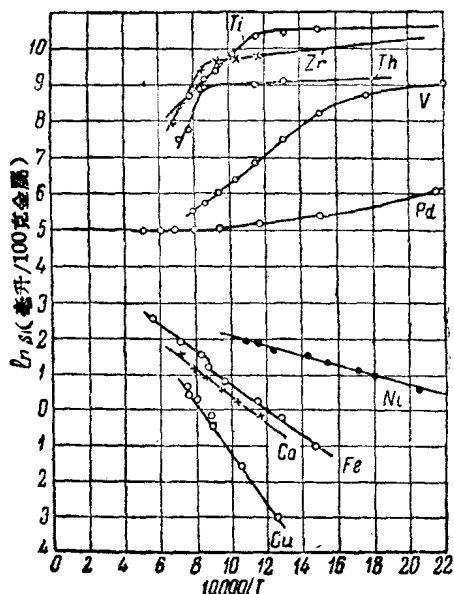


图 1 氢在各种金属中的溶解度数据 (氢为1大气压时)

解度又急剧地从1400°C时的10.6毫升降至1420°C的8.1毫升。铁-氮系统与铁-氢系统的区别在于,在 γ 铁存在的温度区间(约900—1400°C)内,氮在金属中的溶解度随温度的升高而减少,但氢却增加。

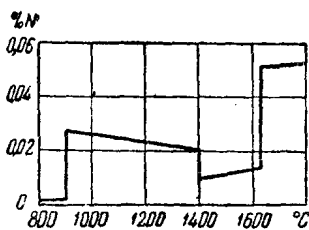


图 2 1大气压下氮在阿姆各铁中的溶解度

氢在某些金属中,如Д.И.门捷列夫周期表中的IV及V两族的“过渡”金属,以及镧系(稀土金属)的镧、铈、铈系金属的钆中,其溶解度均随温度的升高而减少(见图1上半部的曲线)。这说明了上述金属与氢的作用是放热过程。

同时,氢在这些金属中的溶解度值也比在其它过渡金属中大上几倍,并且接近于碱金属及碱土金属氢化物中氢的含量。例如,在铁的熔点(1535°C)时,氢在固态铁中的饱和溶液中,每一个铁原子也仅占有0.0006个氢原子;但是在钛中,于室温下每个金属原子就占有达1.75个氢原子;而氢化钙的分子式却是 CaH_2 。因此常常用氢化物来称呼氢在钛、钒、锆、铌、钽、钽、钽中的溶