

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 A.Г. 阿特拉索夫 M.M. 沙比罗 著
黃舞華 羅士鵠 譯 陳樹昌 校

冶金工业出版社

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固定标准。

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。为此就必須探討并采用較现代化的檢定鋼中夹杂物的方法。对某些特种鋼來說,还要檢定碳化物的組成,有时也要檢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,也有按測定法相同来分类的。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质。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內等情况外,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,它的特征是由許多分散的質点所組成,并且是鋼內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。这种夹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质中的分散相，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，按其物理化学性质來說，碳化物应该看作是介于离子型的非金属物质及电子型的金属化合物間的一种物质。

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，所以它的測定法就属于元素分析的范畴。这种分析并不考虑元素化合态的差别，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。例如当分析鋼内气体时，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，就必须首先将这些相由分散介质——金屬相中分离出来，因而就属于相分析的范畴。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质分开，然后才是分散相彼此之間的分离。

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，但也应该相差不远。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内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 ）的損失。对氮來說（当它成为鋁、鈳、鈦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. P. 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. B. 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.D.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И.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。

И.К.切爾諾夫的学生，傑出的俄國學者及冶金實驗家A.A.尔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.尔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發展。1882年A.列傑布尔提出了氮法測定鐵中氧。在八十年代C.C.苏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煉時，各階段鋼中氧的測定。也就是在這些年代中，許多研究工作者用化學方法從鋼中分離出了碳化鐵並測定了它的組成。

當時在此領域中的研究工作，主動權操在俄羅斯的研究工作者手中。在廿世紀的初葉，Г.Я. 維恩別爾格提出了幾篇關於鋼中氧的論文報告，並且在此後的四十年內仍不斷地加以研究^[4]。在 1909—1913 年，Б.Б. 斯塔爾克進行了鋼中氧含量的研究；在這些工作中已使用了化學法來定氧。И.И. 茹柯夫^[5] 及 Н.П. 齊熱夫斯基^[6] 同時仔細地研究了氮在鐵基金屬中的溶解度，並制定出在鐵基金屬中測定氮的方法。

這時，研究非金屬夾雜物的金相法在俄羅斯金相學家 М. 馬特維耶夫及 С. 施捷恩別爾格的傑出工作中得到了進一步的發展。

А.А. 巴伊柯夫^[7] 則研究了冶金過程的一般理論，解釋了鋼中夾雜物的來源及組成。

然而只有在偉大的十月社會主義革命後，鋼中夾雜物的測定，夾雜物的性質及其對鋼的性能的影響等研究工作才具有廣大的科學規模。

在列寧格勒，於 А.А. 巴伊柯夫的領導下，為了解決迫切的現實問題，創立並採用了分析非金屬夾雜物（氧化物及硫化物）的顯微鏡法和電化學法（在 А.А. 巴伊柯夫領導下工作的有 Ю.Т. 魯卡舍維奇—杜凡諾娃，Г.Я. 維恩別爾格，С.М. 古特曼等）。在哈爾科夫，由 Н.Б. 列維創立的學派（包括 Н.Б. 馬拉申柯，М.М. 沙比羅，И.И. 契波特凱維奇，А.Б. 古列維奇等）擬出了許多測定合金鋼中非金屬夾雜物的化學法與電化學法。參加上兩學派研究工作的還有岩相學家，列寧格勒的 Б.Б. 伊凡諾夫和哈爾科夫的 К.Г. 善迪巴，這就立即奠定了對夾雜物進行綜合研究的始基，而這樣的 research 也正是蘇聯科學的特點。在這些年代里（廿年代末期到三十年代初期），莫斯科的 Н.П. 齊熱夫斯基及 Н.С. 列別傑夫擬定了一系列的真空熔融測定鋼中氣體（特別是測定氧）的物理化學分析法。這一研究方向後來在 М.Б. 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特罗夫斯克的 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，鋼內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设备；此外，也还應該提到 Е.И. 雅伏伊斯基（烏拉尔工业学院），他对熔炼过程中金屬內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. 札賓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（氧化亞鉄，氧化亞錳）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渣方面的实验。Е. Е. 切布尔柯夫則对焊縫中夹渣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）在測定鋼內非金屬夹杂物、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。

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 液态鋼沸腾时析出气体之測定	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. 芬博琴法	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. 阿明和维尔涅尔斯法	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. I. 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評价	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 (蓋尔契法)	89
2. 真空鋁法 (П.С.列別捷夫法)	97
3. 氫鋁法	98
4. 擴散鋁法	99
5. 氫法 (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. 鹽酸定氮法	139
5. 稀硫酸定氮法	140
6. 過氯酸快速定氮法	141
第四章 真空熔融法測定金屬中的氣體	149
第一节 方法原理及儀器概述	149
1. 由金屬樣品中析出氣體	149
2. 金屬升華物對抽取出的氣體的吸收作用	156
3. 消除薄層的吸附活性	160
4. 真空熔融法測定氣體的裝置	161
第二节 真空熔融法測定金屬中的氣體以 ЦНИИЧМ 型儀器用	170
1. ЦНИИЧМ 型儀器	170
2. 工作前儀器的準備	173
3. 儀器的開動	175
4. 儀器的去氣	176
5. 儀器的操作步驟	177
6. 裝試樣	177
7. 空白校正值的測定	178
8. 金屬樣品中氣體的抽取	179
9. 在分析前樣品的準備	179
10. 進行一組分析後儀器的清理	180
11. 分析結果的處理及記錄	181
12. 樣品中氣體含量的計算公式	183
第五章 鋼中氫的測定	188
第一节 鐵和鋼中的氫	188

1. 鋼中氢的測定法	191
2. 低溫冷却条件下鋼中氢的行为	192
3. 鋼錠結晶及冷却时氢的析出	193
4. 样品长期保存在室内条件下时鋼中氢的行为	196
5. 在加热或恒溫的条件下将样品保存在通常的大气中或真空中时金屬中氢的行为	199
6. 液态鋼中氢的測定	205
7. Ю. А. 克里雅奇科教授設計的用真空加热法測定鋼中氢的装置	215
8. А. Н. 莫罗佐夫設計的用真空加热法測定氢用的 ЛПН (列宁格勒工学院) 型仪器	219
9. 繆依尔仪器	224
10. 簡化的真空加热器	225
11. 真空加热法的評價	227
12. 在真空中加热鋼时从鋼中析出氢的充分程度	232
第二节 氧法或氧化法測定氢	237
1. В. И. 雅沃依斯基氧法定氢	238
第六章 气体分析的技术及一些工作方法	243
第一节 气体分析的技术	243
1. 通常的气体分析 (常量分析)	244
2. 气体混合物的各个組份及其吸收剂	245
3. 通常气体分析时气体的燃燒	252
4. 通常分析 (常量分析) 用的气体分析仪	258
5. 气体的半微量分析	259
6. 含甲烷的气体的半微量分析	265
7. 气体的微量分析	269
8. 气体微量分析仪中使用的真空計微量分析仪的工作原則是在校准过的容积中測量气体的压力	274
9. 应用固体吸收剂进行气体的微量分析	286
10. 用低溫凝聚法进行气体的微量分析	290
第二节 一些工作方法	294
1. 真空密封剂 (涂脂)	294
2. 汞的净化	297

3. 玻璃的洁淨.....	301
4. 流出来的汞的收集.....	301
5. 压缩气压计的标度.....	302
6. 按綫性法对三級气压計标度.....	303
7. 按平方法对压缩气压計标度.....	305
8. 眞空系統內各段容积的測定.....	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固定标准。

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。为此就必須探討并采用較现代化的檢定鋼中夹杂物的方法。对某些特种鋼來說,还要檢定碳化物的組成,有时也要檢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,也有按測定法相同来分类的。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质。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內等情况外,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,它的特征是由許多分散的質点所組成,并且是鋼內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质中的分散相，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，按其物理化学性质來說，碳化物应该看作是介于离子型的非金属物质及电子型的金属化合物間的一种物质。

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，所以它的測定法就属于元素分析的范畴。这种分析并不考虑元素化合态的差别，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。例如当分析鋼内气体时，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，就必须首先将这些相由分散介质——金屬相中分离出来，因而就属于相分析的范畴。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质分开，然后才是分散相彼此之間的分离。

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，但也应该相差不远。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内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 ）的損失。对氮來說（当它成为鋁、鈳、鈦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. P. 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. B. 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Н.Д. 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，固体非金屬夾雜物含量增加等。

在1878年，偉大的俄羅斯冶金學家И.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。

И.К. 切爾諾夫的学生，傑出的俄國學者及冶金實驗家А.А. 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，А.А. 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發展。1882年А. 列傑布尔提出了氮法測定鐵中氧。在八十年代С.С. 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Р. 維

謝列和 A. 罗曼諾夫第一个提出了在馬丁爐內熔煉時，各階段鋼中氧的測定。也就是在這些年代中，許多研究工作者用化學方法從鋼中分離出了碳化鐵並測定了它的組成。

當時在此領域中的研究工作，主動權操在俄羅斯的研究工作者手中。在廿世紀的初葉，Г.Я. 維恩別爾格提出了幾篇關於鋼中氧的論文報告，並且在此後的四十年內仍不斷地加以研究^[4]。在 1909—1913 年，Б.Б. 斯塔爾克進行了鋼中氧含量的研究；在這些工作中已使用了化學法來定氧。И.И. 茹柯夫^[5] 及 Н.П. 齊熱夫斯基^[6] 同時仔細地研究了氮在鐵基金屬中的溶解度，並制定出在鐵基金屬中測定氮的方法。

這時，研究非金屬夾雜物的金相法在俄羅斯金相學家 М. 馬特維耶夫及 С. 施捷恩別爾格的傑出工作中得到了進一步的發展。

А.А. 巴伊柯夫^[7] 則研究了冶金過程的一般理論，解釋了鋼中夾雜物的來源及組成。

然而只有在偉大的十月社會主義革命後，鋼中夾雜物的測定，夾雜物的性質及其對鋼的性能的影響等研究工作才具有廣大的科學規模。

在列寧格勒，於 А.А. 巴伊柯夫的領導下，為了解決迫切的現實問題，創立並採用了分析非金屬夾雜物（氧化物及硫化物）的顯微鏡法和電化學法（在 А.А. 巴伊柯夫領導下工作的有 Ю.Т. 魯卡舍維奇—杜凡諾娃，Г.Я. 維恩別爾格，С.М. 古特曼等）。在哈爾科夫，由 Н.Б. 列維創立的學派（包括 Н.Б. 馬拉申柯，М.М. 沙比羅，И.И. 契波特凱維奇，А.Б. 古列維奇等）擬出了許多測定合金鋼中非金屬夾雜物的化學法與電化學法。參加上兩學派研究工作的還有岩相學家，列寧格勒的 Б.Б. 伊凡諾夫和哈爾科夫的 К.Г. 善迪巴，這就立即奠定了對夾雜物進行綜合研究的始基，而這樣的 research 也正是蘇聯科學的特點。在這些年代里（廿年代末期到三十年代初期），莫斯科的 Н.П. 齊熱夫斯基及 Н.С. 列別傑夫擬定了一系列的真空熔融測定鋼中氣體（特別是測定氧）的物理化學分析法。這一研究方向後來在 М.Б. 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，鋼內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设备；此外，也还應該提到 Е.И. 雅伏伊斯基（烏拉尔工业学院），他对熔炼过程中金屬內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（氧化亞鉄，氧化亞錳）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——杜凡諾娃总结了她多年来在研究夹渣方面的实验。Е. Е. 切布尔柯夫則对焊缝中夹渣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）在測定鋼內非金屬夹杂物、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。