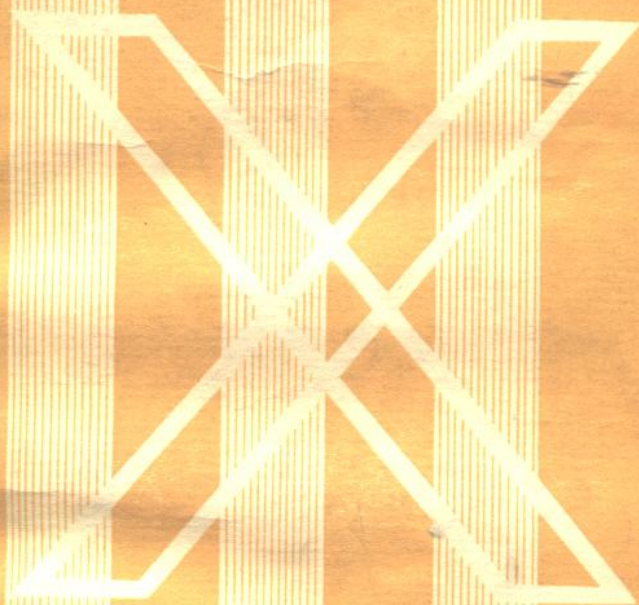


最新钢铁 状态分析



冶金工业出版社

75.2
973

最新钢铁状态分析

镰田仁 编

张永权 姚泽雄 译

那宝魁 校

312.1(5)

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书内容分两部分：第一部分介绍状态分析的各种方法及应用实例，主要包括电解分离的化学方法、热分析法、发射光谱分析法、荧光X射线分析法、红外分光光度法、磁性分析法、X射线衍射法、电子探针微区分析法、二次离子质谱分析法、化学分析用电子能谱法、俄歇电子能谱法、穆斯堡尔谱法、电子显微镜法和自射线照相法；第二部分介绍如何综合应用以上各种方法进行状态分析，以解决钢铁材料研究工作中的问题。

最新钢铁状态分析

镰田仁 编

张永权、姚泽雄 译

那宝魁 校

*

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷3号)

新华书店北京发行所发行

河北省阜城县印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 13 1/8·字数 348 千字

1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷

印数00,001~3,500册

统一书号：15062·4400 定价3.85元

序 言

最近在材料研究中引进了“特征化处理”(Characteraion)这一概念,不论是无机材料和有机材料,还是金属材料,都在非常广泛的领域内探讨分析化学的最佳状态,分析化学正处于一个转折时期。对于材料研究来说,进行元素分析是当然的,而寻求组成元素之间的结合状态、配位状态和分布状态等的状态分析,也已成为材料特征化处理不可缺少的部分。另外,为了对材料进行正确的特征化处理,在设计状态分析时,分析化学研究人员和材料研究人员的充分合作是进行该项工作的基础。

不仅在材料研究中采用特征化处理这个术语,而且在其它领域中也开始采用这个术语,例如,环境特征化处理和病情特征化处理(临床分析)等。分析化学的研究正在从研究分析方法逐步向解决实际问题的方向发展,把各种状态分析方法综合起来加以系统化,用它来阐明同一个问题,这样的研究工作正变得多起来。

另外,钢铁工业作为基础工业正在成为整个工业技术的支柱。钢铁作为各种工业的基础材料,获得了非常广泛而大量的应用,估计这种趋势今后也不会改变。过去一直是用钢铁材料机械地组合,来建造楼房、桥梁及船舶等具有优异功能的结构。在这种情况下,钢铁产品的质量往往是依靠元素分析来保证的,可是,随着钢铁产品用途的多样化,不再仅仅依靠机械设计,而且还必须依靠钢材本身的材料设计来获得高性能。只靠元素分析是不可能充分保证质量的,还必须把状态分析和元素分析系统化和综合化。

钢铁分析中的状态分析,是其它材料分析领域的先驱,从本世纪四十年代就蓬勃地发展起来了。到了五十年代和六十年代,通过对各种仪器分析方法的开发,它的面貌为之一新,并正在发展。在这种情况下,计划和组织编写这本书意义是很大的。本书

如能对各方面的材料研究人员和分析研究人员有所帮助、对分析化学的发展，起一些作用的话，我们将感到十分高兴。

在编著本书的过程中得到了新日铁基础研究所松本龙太郎室主任和田口勇课长研究员的很大帮助，特别是田口先生对全稿进行了详细的校阅，特此致谢。另外还要向接受本书发行的阿古内出版公司表示感谢。

镰田仁

一九七九年七月

目 录

第一章	钢铁状态分析的意义	1
第二章	钢铁状态分析的演变及其概貌	11
第三章	钢铁状态分析的基础	41
第一节	化学分析法	41
第二节	热分析法	99
第三节	发射光谱分析法	140
第四节	荧光 X 射线分析法	149
第五节	红外线分光光度分析法	166
第六节	磁性分析法	183
第七节	X 射线衍射分析法	187
第八节	电子探针微区分析法(EPMA)	216
第九节	俄歇电子能谱分析法	242
第十节	二次离子质谱分析法	271
第十一节	化学分析用电子能谱分析法	295
第十二节	穆斯堡尔能谱分析法	326
第十三节	电子显微镜	335
第十四节	自射线照像	353
第四章	状态分析的应用	379
第一节	热处理时电解铁中氧的固溶量	379
第二节	热处理后高合金钢中的析出物	383
第三节	不锈钢中大型氧化物夹杂的分析	386
第四节	钢板表面缺陷中不同粒度氧化物夹杂的分析	388
第五节	发展利用微细 TiN 的大线能量的可焊接用钢	392
第六节	钢中硼的状态分析及淬透性	397
第七节	钢中钒化合物的电子显微镜定量与化学法定量比较	399
第五章	总结	406

第一章 钢铁状态分析的意义

1. 什么叫状态分析

众所周知，在了解和利用材料方面，材料的平均成分无疑是极其重要的。另外，微量元素和夹杂元素，即使含量非常低，也会使得材料的电学、磁学和力学等性能发生很大的变化。这些元素聚集在晶界或表面上，就会使界面的性能复杂化，而且在同晶格缺陷（也称为物理夹杂物）交互作用下，它们的影响就会更加复杂。此外，这些元素在材料中以什么样的化合物形式存在，或者说化合物的形态、大小和分布等，都会使材料的性能产生很大的变化。因此，在很久以前人们就十分重视这些微量元素的分析，并且发展了很多分析方法，已经能够分析到相当微量的程度。相反，目前比较落后的却是对主成分元素含量（化学计算量）的分析方法，特别是把分析的有效数字提高一个数量级是相当困难的。尽管如此，还是应当承认，已经建立起相当多的元素分析方法了。

按实验式→分子式→示构式→结构式的顺序把化合物高度符号化，并且把每种化合物的特性和化合物的关系明确地描述下来，这一系列的探索导致了化学的非常重大的发展。但是，随着化学研究的进展，人们认识到，把化合物作为分子来描述已经远远不够了，于是产生了包括所有“化学种（Chemical kindness）”的一种术语。即在化学上是独立的种类，如电子、质子、中子等基本粒子，元素、同位素、离子、分子、异构体、基、离子团、各种齐聚物等统称为“化学种”。另外，“化学种”虽然相同而相不同时，也产生了区别各种相的“态种(modification species)”这一术语。而且，分析也不仅仅以元素为对象，而是更广泛地向着以“化学种”和“态种”为对象的方向扩大了。也就是说，从元素分析发展为求示构式的示构分析，又发展为能够区别同素异

形体、同分异构体（结构异构、几何异构、光学异构、互变异构）、晶体类型等状态分析。日本的学术振兴第十九委员会约在四十多年前就提出了要分析金属或合金中非金属夹杂物，如氧化物、硫化物和碳化物、氮化物、金属间化合物等各自的形态，并找出它们与金属和合金的各种性能之间的关系。从那以后，就开始采用“状态分析 (state analysis)”这个术语了。也就是说，无论怎样提高元素的分析精度，也不可能搞清物质的特性，还必须考虑这些元素之间的结合状态和排列状态，因而状态分析所起的重要作用，逐渐为人们所认识。

状态分析的历史相当悠久。其中特别成功的是用X射线衍射方法对晶体进行的状态分析。它在判断非晶态或晶态、确定晶体类型及其混合比、晶体取向和鉴定物质等状态分析方面都取得了很大的成绩。很久以前，人们就利用偏光显微镜鉴定矿物，用光学显微镜和电子显微镜观察物质中微小部分的形态（所谓图象信息）。在五十年代，卡斯特（R. Castaing）利用X射线微区分析把电子显微镜象和元素分析结合起来以后，从状态分析的意义上说，分析化学领域开始大量采用电子显微镜。这样，近年来状态分析终于逐步地形成了。

那末，在状态分析中，所要解决的最基本和最重要的问题是什么呢？在以前的所谓传统的元素分析中所采用的方法是：以不受结构和分布的影响为前提，把待分析的元素与其它元素分离，然后求出它在该物质总量中所占百分比的平均值。而状态分析，则要求在（与存在着的状态相同的）原状态下，不加分离，就在试样中的原位置上进行分析。另外，在分析生物体时，则要求在生物体实际存在的原状态下或在试皿中生存的原状态下进行分析。也就是说，对分析对象进行非破坏性分析是极为重要的。但是，这在实际处理时非常困难。正因为在这一点上有困难，所以，用化学方法进行状态分析，一直没有发展起来。随着分析仪器的的发展，这个问题开始得到解决，状态分析也相应地有了迅速的发展。但是，一般来说，在进行分析时，都是把由于电子、光、

高能粒子和其它物质与分析对象的相互作用所产生的状态变化作为信号，加以搜集和利用。例如：X射线微区分析，就是利用电子冲击试样所产生的X射线谱线进行分析的。这时，试样表面往往会被电子损伤，有失去原来的试样表面的危险。也就是说，由于分析操作的缘故，分析对象或多或少都会有些变化。因此，想要完全做到非破坏性分析是极其困难的。充分考虑到这一点，还必须对所得到的结果进行解析。

2. 特征化处理和状态分析

2.1 什么叫特征化处理

近来人们开始采用“特征化处理”这个词，它是1967年由美国国家研究委员会定义的^[1]。在美国，为了探讨系统而有效地推进固体材料的开发所应采取的方式时，由美国的大学、民间和政府的研究机构中的一些材料研究学者，经过三年左右的反复调查和讨论，而得出的一个概念。原文是这样写的：

“Characterization describes those features of the composition and structure (including defects) of a material that are significant for a particular preparation, study of properties, or use, and suffice for the reproduction of the material.”

把这段话翻译过来就是：“特征化处理所描述的是材料的成分和结构（包括缺陷）的特征，它们不仅对于材料的特殊制备、性能研究和使用是很重要的，而且能够满足材料重复生产的需要。”

美国总结了在固体材料性能的研究方面所耗费的大量人力、时间和经费的教训以后，开展了对这个问题的讨论。在测量未经特征化处理材料的性能时，即使有时也能得到非常好的性能，但是由于未作特征化处理难于重复地生产具有同样性能的这种材料。要想再次做出这种材料，仍必须花费相当多的人力、时间和经费。如果把材料的性能进行特征化处理，并建立性能同组织和结构之间的简单关系，以此为准，就可以重复再生产了。但是，

一般来说，这种关系是比较复杂的，所以，首先只有搞清成分和结构之间的关系，再以此为依据，进行生产，就能较容易地得到具有相同性能的材料。如果固体材料性能的研究学者不重视研究分析化学和结构分析，那么就必将耗费很多的劳力和经费，在总结这些经验教训以后，美国才引入了“特征化处理”这一概念。

英国对此也下了一个大体相同的定义，但略有差别。1973年在英国化学学会秋季年会上，美国通用电气公司中央研究所的格林 (I.R.Green) 博士的报告指出：

“Characterization of a material involves describing its composition, structure and properties in sufficient detail that it can be recognized, for the purpose in hand, as distinct from all other materials.”

即“材料的特征化处理包括详尽地描述它的成分、结构和性能，以便使人们能够充分认识和掌握运用这些特征，以区别于其它所有的材料。”

充分进行特征化处理时，用成分、结构和性能来描述就可以表示出材料的特征，若时间和经费允许，研究得愈充分和愈详细愈好。

在日本，大约十年前，美国的莱蒂内 (Lattinen) 教授访问日本时，在讲演会上讨论分析化学的未来时曾说：“今后分析化学的目标就是物质的化学特征化处理。这可能是最早的提法。当时，日本的分析化学学者们所得到的印象是特征化处理与原来研究的状态分析几乎是一样的。后来在1969年日本—美国关于陶瓷的讨论会上，把“陶瓷材料的特征化处理”作为讨论会的一个主题提出来了，随后在陶瓷研究人员中间对特征化处理展开了讨论、议论纷纷。最近才逐渐接近于美国的定义。此外，在半导体学者之间也在进行着这种讨论。

这些讨论都涉及到物性理论发展方向的基本概念，即使对各物性值之间的联系进行实验解析来建立物性理论，那也只不过是兜圈子而已。只有从成分和结构的关系去讨论性能，才能建立物

性理论。

从上述事实可以写出以下的关系式：

$$\text{物性} = F(\text{成分、结构})$$

这就是特征化处理的概念，分析化学工作者要考虑性能与成分和结构有什么样的内在联系，也就是说把分析结果加以综合，通过测定成分和结构就能推测出材料的性能，这就是分析化学中的特征化处理。材料学者和物性学者要考虑性能与成分和结构是什么样的函数形式，即上式中的F的形式，找出它在理论上的根据，并以此为基础去开辟材料的应用领域。

2.2 用特征化处理分析信息

利用特征化处理，可以分析下列与物质有关的信息：

(1) 构成物质的主要元素成分的定性、定量分析和这些构成元素的二维或者三维分布状态（包括偏析等）。

(2) 这些构成元素之间的结合形式（离子键、配位键、金属键、共价键）和微观结构（分子结构、立体结构、晶体结构等）。

(3) 化合物聚集体的聚集状态〔气态、液态、晶体（单晶和多晶）、非晶体、玻璃体、粘性流体、胶体和等离子体〕。

(4) 宏观结构和形状（胶体、一次粒子、二次粒子、纤维、薄膜和块状）。

(5) 表面和界面状态（扩散、界面析出、表面与吸附物的结合状态、吸附物质的二维分布状态等）。

(6) 同时存在的微量元素成分和化学夹杂物的定性、定量分析及其分布状态（混合物、晶界分布、点阵置换原子、间隙原子和向缺陷的扩散等）。

(7) 物理夹杂——缺陷（空位、间隙原子、位错、孪晶面和堆垛层错缺陷等）和空洞（宏观的）。

(8) 以上各种信息随时间的变化（反应速度、相变速度、平衡状态、非平衡状态、在放置过程中和大气的反应等）。

从日本传统的分析化学的处理方法来看，除上述各项中与元

素分析有关的部分外，其余都与广义的状态分析是一致的，因此可以认为特征化处理就是元素分析与状态分析的组合，大体上就是分析化学本身。但是，必须把与缺陷有关的部分也积极地吸收到分析化学这个领域中来。

2.3 引入特征化处理的意義

如上所述，很久以前人们就认识到了状态分析在分析化学领域中的重要性，而且还进行了很多实际研究工作。那么，为什么现在还要讨论并开始引入特征化处理这一概念呢？让我们来讨论一下这个问题。

特征化处理大致来说具有两个意义。第一，是打算通过特征化处理把各种各样的、彼此独立的元素分析和状态分析加以系统化和系列化。最近，在分析化学中，关于方法的研究比较多，有利用有机试剂的分析方法、荧光X射线分析法、X射线微区分析法和二次离子质谱分析法等，这些方法都是彼此独立的，而且各个研究人员又是分别单独地进行研究的，从各自不同的立场出发而建立起来的分析方法。随着高性能材料的发展，要求分析化学从方法研究转向解决具体问题，这种要求日益迫切。也就是说，目前的分析对象已经高度复杂化，只用一种方法的分析结果来解析材料的成分和结构，几乎是不可能的，而把各种分析结果进行综合解析则是必不可少的了。为了有效地进行这种解析，需要把从各种方法所得到的数据进行统一处理，也就是说，分析方法的系统化是很重要的。采用特征化处理这一概念的意义就在这里。第二，是随着高性能材料的发展，只用分析化学学者所开发的一般方法，是不可能得到解析材料性能所必需的充分的数据，还应当通过分析化学学者与材料研究学者密切协作，共同开发解析材料的最佳方法。引入特征化处理这一概念的意义也在于此。

3. 钢铁材料特征化处理的意義

从节约燃料和能源的观点出发，减轻汽车车体的重量是一个重要的问题。因此，车体钢材正在从冷轧薄板转向高强度钢。但是，只具有重量轻和强度高的性能还是不能满足实际应用的需

要。从汽车车体来说，还需要把钢板冲压成美观的流线型，或者深冲成复杂的高低不平的表面形状。为了满足这项要求，就需要具有新性能的材料，相应地开发了双相钢。即冷轧后通过连续退火处理，使钢材具有适当混合比例的、软而延性好的铁素体和硬的淬火马氏体的双相组织，以满足加工和强度的要求。只用钢中元素的平均分析值是不能控制这种钢的性能的，还必须知道这些元素在钢中以什么状态和怎样分布的，即状态分析的情况。

用硅钢取代普通钢板作为电磁钢板，使变压器的铁损一下子就降低了90%以上。为了进一步降低铁损，又开发了只在某一个方向易磁化的取向电磁钢板。这种钢在结晶时有易磁化方向和难磁化方向，通过轧制和退火使结晶都沿着易磁化方向排列。为了使钢具有新的电磁取向性，还发展了一种轧制方向与易磁化方向夹角为 7° 左右的钢种。为了节能，还正在研究倾斜夹角为 3° 左右的高磁感取向电磁钢板。此外，在桥梁用钢材的防锈问题上，若能省掉再次涂漆作业，从节省劳力和节约维修经费等方面来看都是非常重大的课题。为此正在研究一种在放置过程中能使钢的表面生成一种坚硬而致密的防锈层，从而耐大气腐蚀的钢。诸如此类，对具有高性能的钢种的开发研究正在活跃地进行着。钢的性能越来越高，在这种情况下，只靠分析钢的构成元素就不能控制钢的性能，还必须了解钢中元素存在的状态。

钢铁产品的应用领域非常广泛，对人类文明的发展起着非常重大的作用。人们都希望发展适合需要的、优质而廉价的钢种。为此，钢厂在向用户提供钢材时，都要对所要求的性能预先进行检验，搞清钢的性能试验结果与钢的生产工艺和生产条件之间的因果关系。同时，最近对各种性能产生的由来这样一些带根本性的问题也要进行追究，以便提高质量和开发新的钢种。

在探讨这类带根本性的问题时，大都采用热膨胀和内耗等物理冶金测试方法、用显微镜观察金属组织和非金属夹杂物等检验方法。结果表明，控制钢性能的最重要的因素是钢中存在的极其微小的各种各样的相。关于这些微小相到底是什么东西的探讨，

是从本世纪四、五十年代开始的，西德马克斯普朗克钢铁研究所的苛赫（Koch）博士等发明了电解提取分离法，以后在这方面的工作有了迅速的进展，能够直接测定出微小相的数量、形状、晶体结构和化学成分等。另外，1949年法国钢铁研究院的卡斯特博士等发明了X射线微区分析，把微细的电子束发射到钢中的氧化物、硫化物等非金属夹杂物上，利用从非金属夹杂物产生的特征X射线来分析非金属夹杂物的成分，研究硫化物的形态和成分之间的关系以及氧化物系夹杂物的本质。另一方面，在本世纪初，定性观测碳化物、氮化物和金属组织的方法，已从复型法发展为用电解腐蚀和化学腐蚀制成的金属薄膜法了，这样一来，钢中析出物的析出状态和析出位置等都同位错和堆垛层错等一样能够清楚地进行观察了。

通过这些方法的开发，钢中微小相的实际状态就慢慢地搞清楚了。也就是说，人们已经知道，这些微小相有的是在钢水中就已经生成的氧化物和硫化物，有的是在钢水凝固过程中，随着溶解度的降低而析出来的氧化物、部分碳化物、氮化物和 δ 相等，有的是凝固后在热处理过程中，溶入基体中或从基体中析出来的碳化物、氮化物、 δ 、 σ 和 γ 相等。

那么钢中的这些微小相分别同钢的性能有什么关系呢？关于这个问题，岛田先生曾有过详细的论述^[2]。这里只介绍一下其中的要点。首先，我们把微小相中的氧化物和硫化物称为非金属夹杂物，氧和硫在固相钢中同铁结合，使钢产生热脆性和表面缺陷，降低钢的强度和韧性。因此，在钢水凝固前，如果往钢水中加入同氧的亲合力比铁大的铝、硅和锰，或者加入同硫的亲合力比铁大的锰、钙和稀土元素，这些元素所形成的硫化物或氧化物便上浮分离，使钢中氧和硫的含量尽量降低。另外，还必须控制残留在钢中的这些化合物的形态，防止它们成为钢的热处理和机械加工时的不利因素，并对产品的性能产生坏的影响。残留在固相钢中的氧化物和硫化物的种类、形态、变形状况以及它们的化学属性，对钢材表面产生缺陷的难易、疲劳性能、防锈性能及耐

表 1.1 钢中各种微小相的演变和作用

钢铁产品的典型用途	适合某种用途的材料特性	影响材料性能的微小相的化合物的种类和作用
超高层建筑的钢筋材料	优良的可焊性, 高强度, 韧性	Nb (C,N), V,C, γ 区再结晶晶粒细化和析出硬化, 吸收冲击功
桥梁、电线铁塔 高速列车车体	优良的大气腐蚀性, 可焊性, 高强度, 韧性	Ti (C,N), V,C, 晶粒细化和析出硬化, 吸收冲击功
船舶, 石油钻井装置	优良的可焊性, 高强度, 高的低温韧性	AlN, V,C, Nb(C,N) 降低 MnS 的含量 晶粒细化、析出硬化, 防止焊接脆化吸收冲击功
石油储罐, 天然气贮罐	优良的可焊性, 高强度, 高的低温韧性	AlN, V,C, (Fe,Cr,Mn), C 晶粒细化和析出硬化, 吸收冲击功
石油天然气管线	优良的可焊性, 高强度, 高的低温韧性, 优良的耐蚀性	Nb (C,N), V,C, 极微量的 MnS 晶粒细化和析出硬化(控制 γ 区的再结晶) 提高耐蚀性, 吸收冲击功
汽车车体	无时效硬化, 优良的成形性, 涂装后有优良的耐蚀性	AlN, VN, TiN, TiC 固定氮, 利用 AlN 控制再结晶
食品罐头上的可乐罐	耐蚀性	增加 MnS 含量 利用硫提高罐内面的耐蚀性
用于变压器等的电磁钢板	降低功率损耗	AlN, MnS 利用 AlN 和 MnS 控制晶粒取向
厨房器具	优良的成形性, 耐蚀性	(Fe,Cr), C, Nb (C,N), TiN + B 改善钢的结晶组织

蚀性能等都有很大的影响，硫化物特别是决定钢材质量的重要因素。

钢材在常温下放置一个月以上时，碳、氮要向钢中的缺陷处扩散，形成聚集状态，使钢硬化，并在晶界析出，成为晶间腐蚀和点蚀的原因。为此，在钢水阶段要进行脱碳、脱氮，使碳、氮含量降低；或者再在固相状态下采用某种保护气氛热处理，进一步使碳、氮含量降低；或者往钢水中加入与碳亲和力大的钛、铌、钒等及与氮亲和力大的铝、钒、硼、铌等，把固相钢中固溶的碳、氮以化合物的形式固定下来。目前，还在研究当钢中存在有碳和氮时，通过热处理和机械加工来自由地控制从固相钢中析出的碳、氮化物的数量、形态、大小和晶体结构，从而主动地控制钢的性能。由于碳化物和氮化物的形态以及析出状态的不同，钢的晶粒细化、韧性、耐疲劳性、非时效性和耐蚀性等都受到很大的影响。

现将目前在各个领域中所应用着的、具有代表性的钢种及其特性，以及导致产生这些特性的各种钢中的化合物列于表1.1中。

如上所述，对钢铁中微小相进行状态分析，对钢进行特征化处理，求出这些微小相与钢性能的关系，以此为基础来研究新的钢种，其意义是非常重大的。

参 考 文 献

- 1) National Academy of Science Publication NRC Rep. MAB-229-M, Washington DC (1967) "Characterization of Materials"
- 2) 島田春夫：化学工業，28 (1977)，249

第二章 钢铁状态分析的演 变及其概貌

1. 前言

钢的成分及其结构是影响钢性能的因素之一。最近,冶炼技术和精炼技术都有很大的进步,转炉炼钢和电弧炉炼钢都采用了很多新技术。200~300吨甚至400吨的转炉和电弧炉都投入了生产。而且连续铸造技术也得到普及,真空脱气方法不仅作为钢水的脱气技术,还作为制造纯净钢的一种精炼技术而普遍地被采用。另外,在精炼超低碳铬钢和不锈钢等时,也采用了利用真空脱碳原理的VOD和AOD等工艺方法,正在形成以钢包精炼为发展方向的一种精炼体系。在高级钢领域中,真空感应冶炼法、电子轰击冶炼法、真空自耗冶炼法、等离子冶炼法和电渣重熔法都得到了普遍的应用。

但是,即使拥有现代化的炼钢精炼方法,要想制造出不含非金属夹杂物(以下简称夹杂物)的钢也是不可能的。夹杂物的形态、大小、分布和存在状态,对钢材各种性能,如韧性、疲劳性能、冷热加工性、深冲性、切削性和电磁性能等都有显著的影响。众所周知,钢中的夹杂物有:(1)在冶炼、精炼和铸锭过程中,在钢水或凝固的过程中,由于各种各样的化学反应和溶解度的变化而生成的化合物;(2)在钢的加工和热处理的过程中,与上述同样的反应所生成的化合物;(3)在冶炼和精炼过程中,各种原材料中的杂质没能去掉而残留下来的,或由于钢水对耐火材料的机械侵蚀、炉渣和钢水对耐火材料的化学浸蚀等原因而混入并分散到钢水中的化合物;(4)这些化合物之间的相互反应而生成的化合物等等。此外,还有由于钢的成分及其结构的不同,在加工和热处理的过程中还会析出细小的碳化物和氮化物