

高等学校教材

铁氧体工艺原理

林其壬 编



上海科学技术出版社

高等学校教材

铁氧体工艺原理

林其壬 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

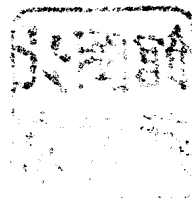
商务印书馆上海发行所发行 商务印书馆上海印刷厂印刷

开 787×1092 1/32 印张 11.75 字数 277,000

1987年4月第1版 1987年4月第1次印刷

印数: 1—1,200

书号: 15119·2537 定价: 1.95元



出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》、中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构。并制定了一九八二~一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系《电子材料与固体器件》教材编审委员会《电子材料与元件》编审小组审定，并推荐出版。

该教材由上海科技大学林其壬担任主编，南京大学都有为副教授担任主审。编审者均依据《电子材料与元件》编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

本课程的参考教学时数为 60 学时，其主要内容是阐明铁氧体制造过程中的变化规律及有关理论。重点论述多晶铁氧体生成反应、致密化、显微结构、气氛平衡等基本理论和实验情况。在此基础上具体介绍铁氧体原材料的选择、配方的考虑、粉料制造、坯件成型、烧结等工艺，并介绍根据铁氧体的应用特性来确定制造工艺的规范。

本书编写过程中，得到过许多同志的帮助。特别是成都电讯工程学院的张有纲教授、华中工学院的何华辉副教授、南京大学的翟宏如副教授、中国科学院物理研究所的潘孝硕研究员、李国栋副研究员等都为本书提出许多宝贵意见，这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 绪论	1
§ 1-1 铁氧体和铁氧体工艺	1
§ 1-2 多晶铁氧体工艺	2
第2章 铁氧体原料	5
§ 2-1 原材料的种类	5
§ 2-2 原材料的选择和处理	7
第3章 铁氧体配方和计算	13
§ 3-1 铁氧体配方的表示法	16
§ 3-2 铁氧体配方的确定	20
§ 3-3 铁氧体配方的计算	26
第4章 铁氧体生成反应	29
§ 4-1 固相反应	29
§ 4-2 固相反应动力学	42
§ 4-3 影响固相反应的因素	50
第5章 铁氧体粉料	57
§ 5-1 用氧化物法制备铁氧体粉料	57
§ 5-2 湿法制备铁氧体粉料	69
§ 5-3 铁氧体粉料的性质	76
第6章 铁氧体坯件的成型	81
§ 6-1 干压成型	81
§ 6-2 磁场成型	84
§ 6-3 热压铸成型	87
§ 6-4 铁氧体坯件的其他成型法	89
§ 6-5 模具	92
第7章 铁氧体烧结	95
§ 7-1 铁氧体烧结	95
§ 7-2 铁氧体坯件的处理	96
§ 7-3 固态物质的烧结	98
§ 7-4 液相存在下的烧结	103
§ 7-5 铁氧体烧结过程的控制	106
§ 7-6 热压烧结	110
第8章 铁氧体多晶结构	117
§ 8-1 铁氧体的微观结构	117
§ 8-2 烧结过程中的结晶成长	118
§ 8-3 铁氧体显微结构的控制	125
§ 8-4 取向多晶铁氧体的制取	135

第9章 铁氧体的气氛平衡142

 § 9-1 铁氧体的平衡气氛142

 § 9-2 铁氧体的还原和氧气烧结149

 § 9-3 脱锌和含锌铁氧体的烧结155

 § 9-4 锰铁氧体的形成和氧化159

 § 9-5 锰锌铁氧体的烧结164

第10章 铁氧体的机械加工175

第 1 章

绪 论

§ 1-1 铁氧体和铁氧体工艺

铁氧体一般是指以氧化铁和其它铁族或稀土族氧化物为主要成分的复合磁性氧化物。铁氧体的外观多呈黑色,质硬而脆,与陶瓷制品相类似,大都采用陶瓷工艺与粉末冶金工艺来制造,故又称为“磁性瓷”。

早在公元前四世纪我国就有关于磁石(慈石)磁性的记载。公元前三世纪,我国劳动人民利用磁石能够指向南北的特性制成司南(指南针)。古时候的磁石就是磁铁矿,其主要组成是 Fe_3O_4 (铁铁氧体)。

由于 Fe_3O_4 的饱和磁化强度仅是金属铁的四分之一,因此在很长的时间内没有引起人们的重视。直到二十世纪初,由于电技术的发展,刺激人们寻找新的磁性材料,1909年第一次出现人工合成的铁氧体,1932年出现了铜铁氧体和铜锌复合铁氧体,1933年制成了钴铁氧体,1935年荷兰、日本等国开展了尖晶石型软磁铁氧体的系统研究工作,到1946年出现软磁铁氧体的商品生产。五十年代是铁氧体蓬勃发展的时期,1952年制成了磁铅石型的钡铁氧体,1953~1954年制成了矩磁铁氧体,1956年出现了石榴石型铁氧体并发现了平面型的超高频铁氧体,此后又出现了钙钛石型铁氧体。随着新材料的不断出现,铁氧体的应用范围也不断扩大,从高频领域推进到微波领域、光领域,从静态的永磁性扩展到脉冲的矩磁性。

铁氧体的制造工艺大多沿袭粉末冶金和陶瓷工业的基本工序,形成所谓氧化物工艺。到了六十年代,为了要制备高质量的铁氧体,如高磁导率、低损耗、高稳定性、高磁能积的材料,在材料制取上对各类铁氧体的配方、添加物的作用、相组成、显微结构、气氛平衡等方面进行了深入的研究。七十年代前后,对磁声、磁电、磁光、磁热等交叉效应的研究,不仅促进了新材料的研究,而且还促进了铁氧体单晶、薄膜等工艺的发展。先后出现了热压法、注浆法、气氛处理、化学共沉淀法、低温干燥法以及喷雾法等等工艺。就是在传统的氧化物陶瓷工艺中也改进了球磨、造粒、成型等工艺,例如采用砂磨机、旋风磨、流化床、喷雾造粒、回转窑、自动成型设备。从而实现了自动化工艺流程、提高了产量、降低了劳动强度、保证了产品质量。

铁氧体的应用特性(如电的、磁的、机械的等)不仅取决于化学组成,而且与制造出的烧结构有关。另外,铁氧体的应用特性还取决于铁氧体的基本物理性质和内部组织结构特性,如反应生成物的组成、相构造、杂质的情况、结晶组织(晶粒的形状、大小、均匀性、缺陷)、气孔构造(气孔的形状、大小、分布情况)以及密度等,而制造工艺将影响铁氧体的内部组织结构特性。因为从原材料到最终铁氧体产品要经过许多的工艺过程,因此,铁氧体制品的性能要受很多制造工艺过程和因素的控制。如何充分发挥各个工艺环节的作用和提高其质量是提高铁氧体材料性能的一个关键性问题。近年来,国内外在铁氧体制造方面都十分注意研究这些问题。例如:采用高纯度的原材料和采用制备铁氧体粉料的新工艺,以获得纯度高、活

性好、物理化学性能均匀、化学成分可控制的粉料；配方组成和添加剂的选择和控制；制备高密度铁氧体的条件和方法；结晶成长和显微结构的控制；气氛平衡的条件及其控制方法，制取具有特殊结构(大单晶、薄膜、晶粒取向)的铁氧体方法等。

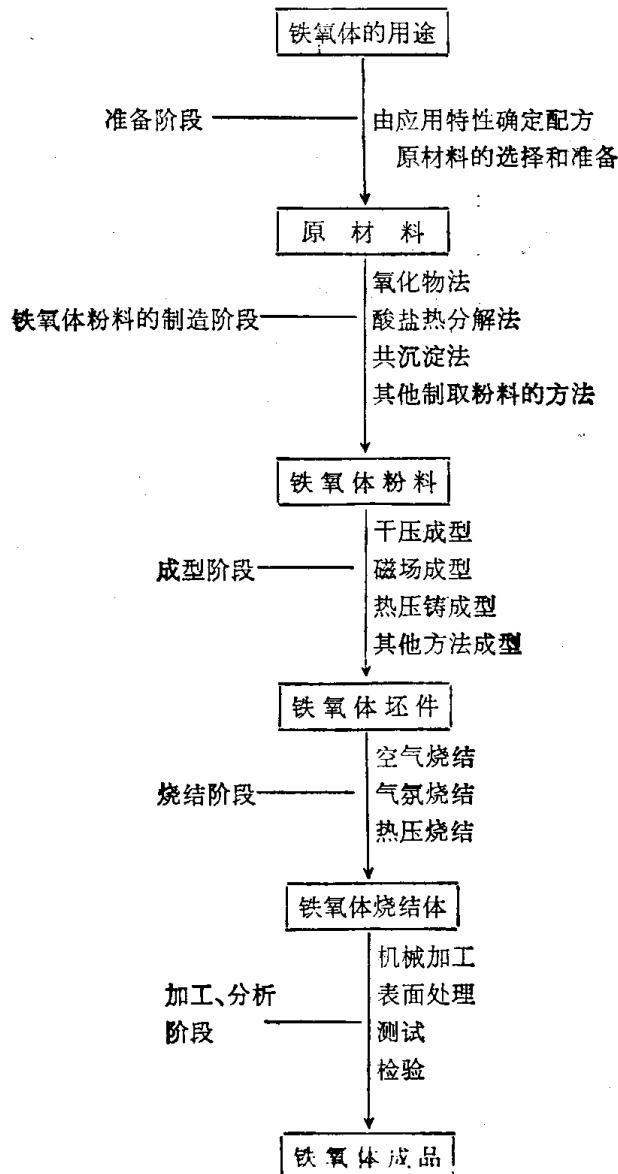
铁氧体工艺原理是阐明铁氧体制造过程中的变化规律和有关的基本理论。我们将着重论述铁氧体的生成反应、致密化、多晶结构的形成和控制以及气氛平衡等理论。通过这些理论的讨论，洞察并揭示铁氧体制造工艺过程的本质和机制，以帮助读者去理解、分析铁氧体制造工艺过程的主要环节(原材料的选择、配料、粉料的制造、成型和烧结等)所起的作用，以及它们的控制原理，继而根据铁氧体的应用特性来确定铁氧体的制造工艺规范。

§ 1-2 多晶铁氧体工艺

铁氧体的制造工艺是把化工材料制造成铁氧体材料(或元件)的过程。

多晶铁氧体的制造过程大略地可以概括成准备阶段、铁氧体粉料制造阶段、成型阶段、烧结阶段以及加工分析阶段。而每个阶段可以有若干过程和方法，如表 1-1 所示。

表 1-1 多晶铁氧体的制造工艺过程



铁氧体的应用范围是很广的。随着应用场合的不同,对铁氧体的要求也不一样。为使制出的铁氧体符合使用的要求,就必需很好地了解铁氧体的应用特性。然后根据应用特性、铁氧体的有关理论知识以及过去的实践经验等来确定铁氧体的配方,并选择合适的原材料。通常用于制造铁氧体的原料是选有关金属元素的氧化物和碳酸盐。少数情况下也选用可溶性的硝酸盐、硫酸盐或草酸盐。

由化工原料制成铁氧体粉料的过程叫做铁氧体粉料的制造阶段。铁氧体粉料的制造可以有許多方法,如氧化物法、盐类分解法、共沉淀法、喷雾干燥法、低温干燥法以及熔化法等等。而各种方法都有其特定的步骤。例如,采用氧化物法制取铁氧体粉料要经过原材料的分析和处理,配方的计算(算出各原料的用量),称料(准确地称取各原料的投料量),混合(将各种原料均匀地混合在一起),预压(将混合好的原料压成块状),预烧(将压成块状的原料置于高温炉中加热),粉碎(将预烧后的块粉碎成粉末状)等等步骤。在铁氧体粉料制造阶段,影响性能的主要因素有原材料的特性、压力、温度、时间及粉碎的条件等。

从铁氧体粉料到铁氧体坯件的过程称为成型阶段。铁氧体粉料是粉末状的,为了制造出具有一定几何形状的铁氧体产品,通常在铁氧体粉料中加入一定量的粘结剂和润滑剂,有的还做成颗粒,并置于一定形状的压模中加压成铁氧体坯件。随着应用场合的不同,铁氧体坯件的成型方法也有许多,例如有干压成型、磁场成型、热压铸成型、冲压成型、浇铸成型、均衡压制以及强挤压等等。影响性能的主要因素有铁氧体粉料的性质、颗粒的性质、成型压力和方式等等。

从铁氧体坯件到铁氧体烧结体的过程称为烧结阶段。烧结阶段应根据铁氧体种类和应用要求等选择不同的烧结方法。例如,要求一般的铁氧体产品可在空气中进行烧结,要求较高的铁氧体产品要在气氛中进行烧结,而对要求高密度的铁氧体材料则应采用热压烧结等。但无论哪种烧结法,都是把铁氧体坯件置于高温烧结炉中加热、保温和冷却。因此影响铁氧体烧结体性能的主要因素有温度、时间和周围气氛。对于热压烧结,还有压力。

铁氧体的加工、分析阶段包括机械加工、表面处理、性能测试、尺寸检验等。这主要是根据产品的应用要求来加以处理的。例如,用作扬声器的永磁体要进行端面磨加工,用作收音机天线的磁芯(天线棒)要进行浸渍、喷漆,用来作磁头芯子的铁氧体要经过切割、研磨、变质层处理等等。

铁氧体制造工艺的特点是材料制取和制品生产一起完成的(对于大多数情况)。这一特点取决于铁氧体硬而脆的性质。另外,它给铁氧体工艺提出了这样的任务,即,既要使铁氧体制品具有一定的特性(电的、磁的、机械的等等),又要使制品具有一定的形状、尺寸、外观要求。铁氧体制品性能的好坏,除了与铁氧体的配方组成有关外,还受原材料和工艺的许多因素影响,而这些因素又是有机地联系在一起。工艺不同,所制成的产品性质也不相同。甚至在同一配方、原料和工艺过程下制成的铁氧体产品,其性能尚可有很大的差别。这主要是各个具体工艺环节中的质量有所不同所导致。因此,如何充分发挥各个工艺环节的作用及提高其质量就成为提高铁氧体制品性能的一个关键性问题。这就要求我们在生产同一特性的一批产品时,为了使质量稳定,则要使工艺稳定。在确定工艺规范时,要求工艺的波动对制品的质量影响较小。此外,我们不仅可以通过调整配方来改变铁氧体制品的特性,还可以通过改变制造工艺来变更铁氧体制品的性能。一种工艺规范在配方、工艺条件固定下,对一个型号的产品适用,但当产品型号(如形状、尺寸等)改变时,工艺规范也要作相应的变更。正因

为此,不存在一般性的工艺文件。以后,我们将注重分析工艺规范的原则。但在确定铁氧体工艺规范时,至少要考虑以下几个方面:

- ① 要使铁氧体产品质量符合技术条件所规定的要求;
- ② 工艺稳定性要好,即要使工艺规范在执行过程中工艺波动对产品质量影响小;
- ③ 经济指标要好,设备要简单,原材料、动力、劳动力消耗要少,生产周期要短,产品合格率要高,产品质量一致性、稳定性要好等等。

参 考 资 料

- [1] 李荫远、李国栋《铁氧体物理学》科学出版社。
- [2] 山口乔《粉体および粉末冶金》,26(5),137~141,1973。
- [3] 成都电讯工程学院《铁氧体磁性材料》教育出版社,1961。

第 2 章

铁氧体原料

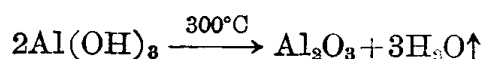
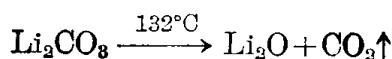
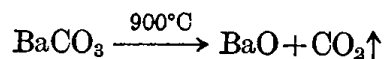
在铁氧体的制造过程中,原材料的选择是一个很重要的环节。原材料选择得好,会促使反应完全,得到好的内部组织结构,从而制出性能好的铁氧体制品;原材料选择得不好,不仅会影响铁氧体制品的性能,而且会给工艺过程增加困难,甚至会做不出铁氧体来。原材料是决定铁氧体制品性能的内因、工艺过程只是影响生成反应和内部组织结构形成的条件。所以在制造铁氧体时,首先要了解原材料和选择原材料。

§ 2-1 原材料的种类

通常,铁氧体的配方包含有二种成分的原料。其一,是铁氧体的基本成分;其二,是添加物,添加物又有助熔剂、矿化剂和添加剂等。它们在铁氧体制造过程中,各有各的作用,下面分别介绍。

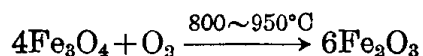
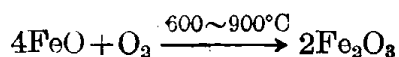
1. 用作铁氧体基本成分的原料 这类原材料是制取铁氧体的基本材料。

如前所述,铁氧体是指氧化铁和其它铁族或稀土族氧化物为主要组成的复合磁性氧化物。例如,钡铁氧体($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$)它是由铁离子(Fe^{3+})、钡离子(Ba^{2+})和氧离子(O^{2-})组成的复合氧化物;镍锌铁氧体($\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$)是由镍离子(Ni^{2+})、锌离子(Zn^{2+})、铁离子(Fe^{3+})和氧离子(O^{2-})组成的复合氧化物。依照铁氧体的分子式,我们又可以用 $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ 和 $0.5\text{NiO} \cdot 0.5\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ 来表示。不难想到人们可用相应的金属氧化物来作铁氧体原料。例如,镍锌铁氧体可以用氧化镍(NiO)、氧化锌(ZnO)和氧化铁(Fe_2O_3)来作原料。可是,有些金属氧化物在室温、常压下是不稳定的。例如一氧化锰(MnO)在空气中就很快地被氧化成高价的氧化物;氧化钡会吸收空气中的 CO_2 生成碳酸钡(BaCO_3)。为此,有些金属氧化物在市场上根本买不到。为了解决这个问题,经过实践,人们发现,有些在室温、常压下稳定的盐类、氢氧化物在不太高的温度下会分解出相应的金属氧化物。例如:



往往由这些盐类或氢氧化物中刚分解出来的金属氧化物性能比较活泼,更有利于铁氧体的生成反应。所以在铁氧体工业中,人们不仅选取金属氧化物作原料,而且也选用氢氧化物、金属盐(主要有碳酸盐、草酸盐和硫酸盐等)作原料。另外,为了节省物力、降低成本,在某些场合也可以采用工业副产品加以适当的处理来作铁氧体的原料。例如,利用轧钢厂中某些钢种的下脚(如铁鳞),经过恰当的粗选、球磨和氧化处理后代氧化铁来生产一些要求不高的铁氧体制品,如喇叭磁钢、天线磁棒等。铁鳞的主要成分是 FeO 和 Fe_3O_4 , 它们在具有足够高

的温度和氧气氛中可氧化成 Fe_2O_3 。它们的化学反应过程如下:



2. 助熔剂 助熔剂的特点是其本身具有较低的熔点,例如, Bi_2O_3 的熔点是 860°C 。或者能与铁氧体的基本成分中某些金属氧化物在较低的温度下起反应生成具有较低熔点的生成物,例如, CuO 与 Fe_2O_3 在 $700\sim 800^\circ\text{C}$ 时即开始反应生成 CuFe_2O_4 , 而在高温 (1085°C 以上) 时会出现液相。在铁氧体配料时, 少量地加入一些这类原料, 由于在铁氧体主要组成固相反应温度以前, 这些具有较低熔点的原料或生成物就已熔化变成低粘度的液相。这种液相在反应物之间流动, 起到类似于媒介的作用, 因而促进了反应物之间的生成反应。通常助熔剂还有降低烧结温度和提高制品密度的作用。在铁氧体工业中, 常用的助熔剂有: CuO 、 Bi_2O_3 、 PbO 、 P_2O_5 、 B_2O_3 等等。

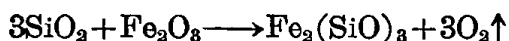
3. 矿化剂 矿化剂有的也叫催化剂。矿化剂就是在铁氧体生成反应中能促进固相反应、助长和控制晶粒生长, 而其本身的组织和重量在反应前后保持不变的物质。矿化剂往往是半径很小、电荷数大的高价离子的化合物。它是与铁氧体相状态无关的反应下进行, 但它不进入最终产物的组分中。有人认为, 矿化剂在铁氧体制造过程中有以下三种的作用:

- ① 生成晶核(结晶中心);
- ② 影响结晶速度(特别是系统的粘度改变和放热作用);
- ③ 影响晶格以及晶体性质。

在铁氧体工业中, 常用的矿化剂有: V_2O_5 、 WO_3 等等。

关于矿化剂和助熔剂的作用, 我们后面还要叙及。

4. 添加剂 有些原料的加入, 虽然不起助熔剂或矿化剂的作用, 但由于它们的加入, 使得铁氧体的内禀特性和显微结构得以很好的改善, 这类原料我们称为添加剂。这类原料在各类铁氧体中均有采用, 而且种类和数量很多。其特点是添加量很少而所起的作用却相当大, 而且在不同的场合所起的作用也不一样。例如, La_2O_3 、 Gd_2O_3 等由于 La^{3+} 、 Gd^{3+} 的离子半径较大, 难以进到尖晶石铁氧体晶格点阵中去, 而只存在于晶粒边界, 当铁氧体晶粒生长时会起到阻碍的作用, 使制出的铁氧体晶粒细而均匀。在镁锰矩磁铁氧体中, 加入少量的 Gd_2O_3 可降低信号干扰比, 加入少量的 La_2O_3 可增进材料的矩形度。在锰锌铁氧体中加入少量的 La_2O_3 可降低材料的损耗。在锰锌铁氧体中加入少量的 CaO , 不仅可以降低铁氧体的烧结温度, 而且能够大大地降低损耗, 提高品质因素。又如 SiO_2 , SiO_2 本身的熔点是很高的 (1713°C), 但少量加入到铁氧体的配方中后, 会与基本成分的 Fe_2O_3 发生反应生成 $\text{Fe}_2(\text{SiO})_3$ 并放出氧气:



致使铁氧体制品呈现多孔性, 从而提高铁氧体的电阻率, 降低损耗。另外, $\text{Fe}(\text{SiO})_3$ 的熔点较低 (1150°C), 所以还起到助熔剂的作用, 在锰锌铁氧体中加入 1 Wt% 的 SiO_2 , 会使收缩率提高 1.5%。在永磁铁氧体 ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ 、 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) 中添加少量的 PbO , PbO 会与 Fe_2O_3 反应生成 $\text{PbFe}_{12}\text{O}_{19}$, 在高温下, 它不但会促进钡铁氧体或锶铁氧体的生成反应, 在温度下降时, 它还会因充填空隙使永磁铁氧体的密度增加。

另外一些添加剂的作用是改善铁氧体材料的内禀特性。这些添加剂的加入, 往往是其

中的某些离子替代了铁氧体中某些点阵上的金属离子或改变超交换相互作用或改变分子磁矩,从而改善铁氧体的特性。例如,在钡铁氧体配方中加入 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 和 Ga_2O_3 , 则 Al^{3+} 、 Cr^{3+} 、 Ga^{3+} 离子会替代钡铁氧体中的 Fe^{3+} , 致使单畴颗粒的临界尺寸增大。又如,在锰锌铁氧体中掺 TiO_2 、 SnO_2 , 则 Ti^{4+} 和 Fe^{3+} 、 Sn^{4+} 和 Fe^{3+} 替代 2 个八面体位置上的 Fe^{3+} , 致使材料的磁致伸缩系数得以补偿,提高了磁导率,对磁导率的温度系数 $T_{\kappa\mu}$ 也有改善作用。

添加剂不完全只是单品种加入,有时还可以两种或两种以上同时加入。例如,在锰锌铁氧体中同时加入适量的 V_2O_5 和 SiO_2 可提高材料的电阻率和品质因素。又如,把 SiO_2 和 CaO 或 B_2O_3 和 CaO 同时加入到锰锌铁氧体中,可以提高材料的电阻率、降低比损耗。在锰锌铁氧体中添加 CaO 和 TiO_2 也能提高材料的电阻率和降低涡流损耗。

总之,在铁氧体行业中,添加剂的种类是很多的,它们所起的作用也是大的。值得注意的是,一种添加剂的加入,虽然可以改善铁氧体的某些特性,但也往往会降低铁氧体的其他特性。例如,非磁性离子的加入,往往会使铁氧体的居里温度降低。所以应用时一定要根据具体场合来确定。此外,在添加量上也必需恰当,否则会适得其反。与铁氧体有关的原料性质如表 2-1。

§ 2-2 原材料的选择和处理

要制造具有一定性能的铁氧体,必需认真地来选择原材料。当然选择原材料要有利于铁氧体生成反应的进行、有利于内部组织结构的形成。原材料的活性会影响铁氧体的生成反应。原材料纯度的高低,不仅会影响铁氧体的基本物理性质,而且会影响到生成反应进行,甚至影响到所生成的铁氧体内部组织结构特性。原料的含水量直接关系到铁氧体配料的准确性。所有这些都将要反映到铁氧体的应用特性上来,因此,我们有必要对它们加以讨论。

1. 原材料的纯度 原料的纯度就是从化学角度表示原料纯到什么程度。原料的纯度通常有两种表示法。一种是用该原料的百分含量来表示。例如,某氧化铁原料含 $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 98\%$, 这就是说在该 100g 氧化铁原料中至少有 98g 纯的 Fe_2O_3 。另一种原料纯度的表示法是用该原料中某一元素的百分含量来表示,象碳酸锰原料就常常是这样。例如,某碳酸锰原料的含锰量为 44%, 这就是说,在该 100g 的碳酸锰原料中含有 44g 的锰。

原料纯度的两种表示法之间是可以互相换算的。现举例说明如下:

[例1-1] 现有某特定规格的碳酸锰,其含锰量为 44%, 问此碳酸锰原料中含 MnCO_3 的百分率是多少?

解: 锰的相对原子质量 = 54.93, 碳酸锰的相对分子质量 = 114.93; 假定碳酸锰是完全纯的, 则其含锰量为 $\frac{54.93}{114.93}$ 。现在已知某特定规格的碳酸锰原料之含锰量为 44%, 所以特定规格碳酸锰原料含 MnCO_3 的百分率为:

$$\frac{44\%}{\frac{54.93}{114.93}} = \frac{114.93}{54.93} \times 44\% = 92.06\%$$

就是说,在含锰量为 44% 的特定规格碳酸锰原料中纯 MnCO_3 的含量是 92.06%。或者说含锰量为 44% 的特定规格碳酸锰原料的纯度是 92.06%。

对于一般化工原材料,人们给它规定了各种纯度的等级,我国目前采用的化学试剂分为

表 2-1 与铁氧体工业有关的一些原料性质

原料名称	化学式	物质的相对分子质量	颜色	结晶结构	晶格常数 (0.1nm)	比重 (g/cm ³)	熔点 (°C)	分解温度 (°C)	备注
氧化铜	CuO	79.54	黑	单斜	$a-4.653, b-3.410, c-5.103, \alpha-99^{\circ}29'$	6.45	1064		
氧化铍	BeO	25.01	白	六方 ZnO 型	$a-2.695, c-4.39$	3.025	2570		
氧化镁	MgO	40.31	白	立方 NaCl 型	$a-4.203$	3.2~3.7	2800		
氧化钙	CaO	56.08	白	立方 NaCl 型	$a-4.80$	3.40	2572		
氧化锶	SrO	103.62	无	立方 NaCl 型	$a-5.144$	4.51	2430		
氧化钡	BaO	153.34	白	立方 NaCl 型	$a-5.528$	5.98	1923		
氧化锌	ZnO	81.37	白	六方 ZnO 型	$a-3.242, c-5.195$	5.47	1950		加压升华 1725
氧化锂	Li ₂ O	29.88	无	立方		2.01	1700		
氧化镉	CdO	128.40	暗赤	立方 NaCl 型	$a-4.689$	8.15	>1400		
氧化铝	Al ₂ O ₃	101.96	白	菱面体 Cr ₂ O ₃ 型	$a-5.13, \alpha-55^{\circ}06'$	3.99	2050		
氧化镓	Ga ₂ O ₃	187.44	白	菱面体 Cr ₂ O ₃ 型	$a-5.28, \alpha-55^{\circ}35'$	6.04	1900		
氧化钇	Y ₂ O ₃	225.81	白	立方 Ti ₂ O ₃ 型	$a-10.604$	5.046	2410		
氧化镧	La ₂ O ₃	325.82	白	立方 La ₂ O ₃ 型	$a-3.945, c-6.151$	6.296	2315		
氧化铈	CeO ₂	172.12	白黄	立方 CaF ₂ 型	$a-5.41$	7.132	1950		
氧化铌	Nb ₂ O ₅	336.48	淡青	六方 La ₂ O ₃ 型	$a-3.841, c-6.151$	6.724	1900		
氧化钽	Ta ₂ O ₅	361.8	白	立方 Ti ₂ O ₃ 型		7.407			
二氧化硅	SiO ₂	60.09	无	六方		2.650	1713		
氧化亚锡	SnO	134.69	黑	正方 PbO 型	$a-3.796, c-4.816$	6.39			
氧化锡	SnO ₂	150.69	白	正方 SnO ₂ 型	$a-4.72, c-3.16$	6.91	1127		
氧化铅	PbO	223.19	赤	正方 PbO 型	$a-3.947, c-4.988$	9.53	888		
四氧化三铅	Pb ₃ O ₄	685.57				9.096			

(续表)

原料名	化学式	物质的相对分子质量	颜色	结晶结构	晶格常数 (0.1nm)	比重 (g/cm ³)	熔点 (°C)	分解温度 (°C)	备注
氧化钛	TiO ₂	79.90	白	正方 SnO ₂ 型	<i>a</i> -4.492, <i>c</i> -2.892	4.26	1855		
氧化锆	ZrO ₂	123.22	白	单斜		5.68	2850		单斜 $\xrightarrow{1000^{\circ}\text{C}}$ 正方 $\xrightarrow{1400^{\circ}\text{C}}$ 立方
五氧化二磷	P ₂ O ₅	141.95	白	单斜		2.39	563		吸潮性大
氧化砷	As ₂ O ₃	197.84	白	立方 As ₂ O ₃ 型		3.87			
氧化锑	Sb ₂ O ₃	291.52	白	立方 As ₂ O ₃ 型		5.2	656		
氧化铋	Bi ₂ O ₃	465.96	黄	斜方型		8.9	800		变态, 斜方 704°C 立方
五氧化二钒	V ₂ O ₅	181.88		斜方	<i>a</i> -11.48, <i>b</i> -4.36, <i>c</i> -3.55	3.34	658		
三氧化二铬	Cr ₂ O ₃	151.99	绿	菱面体 Cr ₂ O ₃ 型	<i>a</i> -5.88, <i>a</i> -54°50'	5.21	1990		
一氧化锰	MnO	70.94	绿	立方 NaCl 型	<i>a</i> -4.4345	5.43	1650		
三氧化二锰	Mn ₂ O ₃	157.97	黑	立方 Ti ₂ O ₃ 型	<i>a</i> -9.408	4.50			
四氧化三锰	Mn ₃ O ₄	228.81	褐	正方	<i>a</i> -5.75, <i>c</i> -9.43	4.86	1705		
二氧化锰	MnO ₂	86.94	灰黑	正方 SnO ₂ 型	<i>a</i> -4.44, <i>c</i> -2.89	5.03			
氧化铁	α -Fe ₂ O ₃ γ -Fe ₂ O ₃	159.69 159.69	赤 黑	菱面体 Cr ₂ O ₃ 型 立方	<i>a</i> -5.4135, <i>a</i> -50°17'	5.24 4.91	1565		赤铁矿
四氧化三铁	Fe ₃ O ₄	231.54	黑	立方 MgAl ₂ O ₄ 型	<i>a</i> -8.374	5.16	1538		磁铁矿
氧化钴	CoO	74.93	灰绿	立方 NaCl 型	<i>a</i> -4.24	6.47	1935		

(续表)

原料名	化学式	物质的相对分子质量	颜色	结晶结构	晶格常数 (\AA , \AA , \AA)	比重 (g/cm^3)	熔点 ($^{\circ}\text{C}$)	分解温度 ($^{\circ}\text{C}$)	备注
四氧化三钴	Co_3O_4	240.80	黑	立方 MgAl_2O_4 型	$a-8.07$	6.07			
氧化镍	NiO	74.71	灰绿	立方 NaCl 型	$a-4.17$	6.96	1998		
碳酸锂	Li_2CO_3	79.88	无	单斜		2.111	618	132	
碳酸钠	Na_2CO_3	105.98	白	白色粉末		2.553	852	864	
碳酸镁	MgCO_3	84.31	无	菱面体 NaNO_3 型	$a-5.61, \alpha-48^{\circ}12'$	3.077		350	
碳酸钙	CaCO_3	100.08	无	斜方 KNO_3 型	$a-7.94, b-5.72, c-4.94$	2.93		825	
碳酸钙	CaCO_3	100.08	无	菱面体 NaNO_3 型	$a-6.86, \alpha-46^{\circ}06'$	2.711			
碳酸锶	SrCO_3	147.62	无	斜方 KNO_3 型	$a-8.42, b-6.10, c-5.13$	3.70	1497 (加压 CO_2 中)		
碳酸钡	BaCO_3	197.34	无	斜方 KNO_3 型	$a-8.835, b-6.549, c-5.256$	4.43			
碳酸锰	MnCO_3	114.94	淡红	菱面体 NaNO_3 型	$a-5.84, \alpha-47^{\circ}45'$	3.6		100 $^{\circ}\text{C}$ 以下	
碳酸亚铁	FeCO_3	115.85	白	菱面体 NaNO_3 型	$a-5.754, \alpha-47^{\circ}25'$	3.8		200	菱铁矿
碳酸钴	CoCO_3	118.93	淡赤	菱面体 NaNO_3 型	$a-5.674, \alpha-48^{\circ}14'$	4.13			
碳酸镍	NiCO_3	118.71	淡绿	菱面体 NaNO_3 型	$a-5.57, \alpha-48^{\circ}43'$				
碳酸锌	ZnCO_3	125.39	白	三角		4.42		300	
硫酸锌	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	287.43	无	斜方	$a-11.85, b-12.09, c-6.83$	1.97		935	
硫酸亚铁	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	277.91	淡绿	单斜	$a-15.84, b-12.98, c-20.02, \beta-104^{\circ}15'$	1.898	64	700	
硫酸铁	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	399.97	黄	斜方		3.077		480	
硫酸铜	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	249.6	青	三斜		2.286			
硫酸镍	$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	280.77	绿	斜方	$a-11.86, b-12.08, c-6.81$	1.948		840	
硫酸锰	$\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	277.0		斜方		2.1		950	
硫酸锶	SrSO_4	183.68	无	正交		3.71~3.97	1065		

(续表)

原料名称	化学式	物质的相对分子量	颜色	结晶结构	晶格常数 (0.1nm)	比重 (g/cm ³)	熔点 (°C)	分解温度 (°C)	备注
硫酸铅	PbSO ₄	303.25	白	单斜或正交		6.23	1700		
硫酸钴	CoSO ₄ ·7H ₂ O	280.99		单斜		1.948	968	800	
硫酸钡	BaSO ₄	233.4	无	正交		2.435	1580		
氢氧化铝	Al(OH) ₃	155.99	白色	单斜		2.078			
氢氧化钙	Ca(OH) ₂	74.08	无色	六方					
氢氧化物	Fe(OH) ₂		白	六角	$a-3.262, c-4.596$				
	α -FeOOH		淡黄褐	正交	$a-4.587, b-9.917, c-3.015$				
	β -FeOOH		淡桔黄	四方	$a-10.48, c-3.06$				
	γ -FeOOH		浅桔褐	正交	$a-3.87, b-12.51, c-3.06$				
	δ -FeOOH			正交	$a-2.94, c-4.50$				
	α -MnOOH			正交	$a-4.58, b-10.76, c-2.89$				
	γ -MnOOH			单斜	$a-8.86, b-5.24, c-5.70$				
	草酸亚铁	FeC ₂ O ₄ ·2H ₂ O	179.90	淡青	正交			160	
草酸铁	Fe ₂ (C ₂ O ₄) ₃	375.76					100		
草酸钴	CoC ₂ O ₄	146.96	浅红			3.021			
草酸镍	NiC ₂ O ₄ ·2H ₂ O	182.74	浅绿						
氯化亚铁	FeCl ₂ ·4H ₂ O	198.92	绿	单斜					吸湿性较大
三氯化铁	FeCl ₃ ·6H ₂ O	270.32	黄	六角		2.99		672	吸湿性较大
氯化钴	CoCl ₂ ·6H ₂ O	237.95	深红	单斜					吸湿性较大
氯化镍	NiCl ₂ ·6H ₂ O	237.70	绿	单斜					吸湿性较大
氯化锌	ZnCl ₂	136.29	无色	菱面体 CdCl ₂ 型	$a-4.71, \alpha-34^{\circ}48'$	2.905			吸湿性较大