



第一章

材料科学基础

材料与材料的发展史

人们常说,材料是人类文明的物质基础。那么材料到底是什么呢?很简单,只要你向四周看看,就可以发现材料无处不在。我们穿的衣服是由各种材料制成的;我们住的房屋是由各种材料建成的(大部分是人工合成的);窗户上的玻璃、吃饭用的餐具、通讯用的手机、乘坐的汽车、家里的电器等等都是由各种各样的材料制成的。小到简单的缝衣针,大到复杂的航天飞机,都离不开材料这一基础物质。我们可以给材料下一个简单的定义:材料就是可以制造有用物件的物质,也就是说,材料是人类用来制造物品、器件、构件、机器或者各种其他产品来满足多种需要的物质。材料是物质,但并不是所有物质都可以称为材料,一般而言,燃料和化学原料、食品和药物等通常都不划入材料范畴。材料总是与一定的用途相联系,由一种或者若干种物质构成。同一种物质,由于制备方法或者加工方法不同,可成为用途迥异的不同类型和性质的材料。

材料是人类进步的里程碑,从一定意义上讲,人类的历史可以说是材料利用的历史。在人类利用材料的历史中,每一种重要材料的发现、发明和利用,都会将人类改造自然的能力提高到一个新的水平,给社会和生活带来重大的变革,将人类的物质文明和精神文明向前推进一步。

早在 100 多万年前,古人类开始以石头做工具,这标志着旧石



器时代的开始。大约 1 万年以前,人类开始知道对石头进行加工,使之成为更精致的器皿和工具,从而进入新石器时代。中国在 8 000 年前就开始用蚕丝织造绸缎而成衣,印度人在 4 500 年前就开始培植棉花纺纱织布以制装,绸缎和棉布作为材料使人们不再以树叶兽皮蔽体,不但能御寒,而且可以体面地生活。在远古时代,人们学会了采用黏土来制作陶器,加之火的应用,从而烧肉煮饭而熟食,得到丰富的养分,增强了体能,促进了人类的健康发展。在新石器时代,人类已经知道使用天然的金和铜,但是由于尺寸比较小,数量也不多,不能成为可以大量使用的材料。后来人类在寻找石料的过程中认识了矿石,在烧制陶器的过程中又还原出了铜,发明了炼铜技术,从而人类进入了青铜器时代。这是人类大量使用金属的开始,也是人类文明发展的重要里程碑。在青铜器时代,青铜器铸鼎造工具、制刀枪剑矢,促进了生产力的发展。在大约公元前二世纪,我国劳动人民已经开始使用铁。铁矿石比铜矿石多得多,铁器硬度高,以铁炼钢,钢铁制品品种多,应用广,铁工具要比青铜工具更为实用,铁器的制造成本远低于铜制品。从此,人类进入铁器时代。我国出土的人工铁制品表明:我国生铁冶炼技术遥遥领先于同时期世界其他地区,特别是铸剑术名传天下,干将、莫邪名剑传千古。铸铁、炼钢技术的发明推动了生产力的发展。这些技术在大约公元 6 世纪先后传到了东亚和北欧,推动了整个世界文明的进步。18 世纪蒸汽机的发明和 19 世纪电动机的发明,使材料在新品种的开发和规模生产方面产生了飞跃。例如,转炉和平炉炼钢术的发明使世界钢产量从 1850 年的 6 万吨突增到 1900 年的 2 800 万吨,到如今,仅我国的钢铁产量,一年就超过亿吨。钢铁工业是整个现代工业的基础,钢铁的发展大大促进了机械制造、铁路交通各项事业的发展。后来不同类型的特殊钢相继问世,此后,铝、镁、钛和很多稀有金属相继被发现,从而使金属材料在 20 世纪占据了结构材料的主导地位。到 20 世纪初,随着化学的发展,西方科学家仿照中国丝绸发明了人造丝,这是人类发展新材料的又一里程碑。如今,世界人工合成高分子材料产量达 1 亿吨以上,体积已经超过了钢材。有些发达国家年产高分子的体



积已经超过了钢的两倍。到 20 世纪 50 年代,人类用特殊方法制造出了一系列先进陶瓷,它们资源丰富,材料具有比重小、耐高温、耐磨的特点,发展前途广阔。先进陶瓷已成为近几十年材料科学中非常活跃的研究领域。复合材料是上世纪后期发展起来的另一类材料,生活中就有很多复合材料的例子,人们很早就会在泥巴中加入麦秸用来建造房屋,现在人们将钢筋和水泥复合在一起建造高楼大厦。近几十年来,复合材料的发展也是日新月异,种类繁多的复合材料不断地改善着人类的生活。

材料的重要性

材料既是人类社会进步的里程碑,又是现代文明的物质基础。新材料的研究开发与应用反映着一个国家的科学技术与工业水平,新材料的研制开发与应用和一个国家的创新能力及工农业、军事实力的增长都有十分密切的关系。

中国的桥梁技术是世界著名的,我国古代赵州桥、苏州的枫桥、宝带桥都是用石材修起的拱桥,至今仍向人们传达关于千古传情的遐想。然而,现代工业的发展,钢铁、吊索的制作,使得加利福尼亚海湾的金门大桥从 20 世纪 30 年代至今屹立在海边峭壁之间,让千万辆汽车穿梭于湾区。秦砖汉瓦构筑了中国建筑业的基石,从秦始皇的阿房宫到故宫太和殿的金碧辉煌诉说着中国古代建筑的成就,而现代城市拔地而起的高楼大厦,黄浦江畔的金茂大厦、东方明珠,正在显示新型建筑材料发展的作用。古代人们幻想着飞天、嫦娥奔月只能在梦想中依靠仙药来实现,而人类登上月球的航天飞船的发明在很大程度上是建立在航天新材料发展基础上的。

结构材料的发展在人类文明的前进中起着关键作用,功能材料的发展在现代科技中更占有举足轻重的位置,我们可以用几个近代科学发展的实例来说明。

在电子技术的发展过程中,新材料的研制与开发起着举足轻重的作用。在 20 世纪初到 40 ~ 50 年代,收音机、电视机、电子计算机的出现都是电子管发明的结果,随后发明的半导体晶体管使得电子设备朝小型化、轻量化发展,并且使器件的可靠性提高,寿



命延长。20 世纪 50 年代发展起来的集成电路技术的发展速度十分惊人,以硅单晶为主的半导体材料的发展使得计算机等电子设备的性能有了质的飞跃。

1966 年,英籍华裔工程师高锟提出当光纤传输损耗足够小的时候可以实现光通信,经过 10 年的努力,终于试验成功了世界上第一条光纤通信线路。由于光纤造价低、传输信息的容量大、中继站少、保密性强、抗干扰,所以光纤通讯发展迅猛,在几十年内,从连接各大陆的海底电缆到很多城市和家庭都遍布了光缆,成为现代信息高速公路和信息网络化的重要组成部分,光纤通信使整个地球变成了一个“大村落”。

磁性材料用途十分广泛,是现代社会不可或缺的材料之一。收音机、电视机、电子计算机和其他通信设备都离不开磁性材料。磁性材料在电动机、发电机和变压器中也占有很重要的地位。磁性材料又分为硬磁材料和软磁材料,由于新磁性材料的损耗更小、磁能积更大,所以应用更为广泛。新磁性材料的应用给我们的生活带来了巨大的变化,例如 20 世纪 80 年代出现的钕铁硼铁氧体,磁能积比钢高 100 倍,它的应用使得音响设备体积变得更小,电机的功率则大大提高。

超导技术是人们努力发展的另一种技术,它可以让电流在没有任何损耗的状态下传输,这样可以将电力输送到更远的地方。但是由于超导材料的临界温度都比较低,还未能达到工业化的要求,高温超导体的研究成为科学研究的重点。超导技术的引入将使很多领域发生飞跃式的发展,如超导量子干涉器有很高的灵敏度,可以测出很微弱的磁场,如果将其装在卫星或者飞机上,既可以探测矿藏的分布,也可以在生物学领域检测生物磁场,如果将超导材料用于制造磁悬浮列车,列车的速度可以大大提高,而震动和噪音可以减少到最低限度;超导材料可以制成磁流发电机和受控热核反应装置的重要部件。航空航天技术是人类现代文明的又一重要标志。20 世纪 40 年代,喷气式飞机就是在高温材料和高性能材料的应用基础上发展的,特别是高温合金的不断发展,使得涡轮温度不断提高,提高了歼击机的性能,而且为大型客机的安全和有



效负载的提高、连续飞行时间和发动机寿命的延长提供了可能。航天与卫星的发展是科学技术现代化的标志之一,航天器特别需要耐超高温、抗辐射、耐离子云以及原子氧侵蚀等的材料,并且对材料的轻质和高强要求更为苛刻,因为航天飞行器每减少 1 000 克,便可以使运载火箭减少 1 吨的质量。导弹和火箭的上级结构质量减少 1 000 克将增加射程接近 3 000 米,材料对航天技术是多么重要啊!

材料的分类

现代材料的种类繁多,材料的分类方法也多种多样,最普遍的是按照材料的组成、结构特点,将材料分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料(常称高分子材料)和复合材料四大类别,每一大类又可分为若干小类。

事实上,这种分类方法是十分粗略的。例如黑色金属是钢铁一类物质的总称,而钢和铁的区别主要在于其以铁为主的材料中碳元素的含量不同,铁有生铁、熟铁之分,钢又可分为碳素钢、合金钢、特种钢等。在钢铁中所添加杂质的种类组分不同,性能差异很大。生铁杂质含量较高,坚硬,但脆性高。而钢的机械性能和工艺性能优于生铁,某些特种金属元素的加入,又可以进一步改变其性质,使其符合人们不同用途的需求。

根据材料的使用目的以及对性能要求的特点,可以将材料分为结构材料与功能材料两大类。结构材料是以材料的力学性能为基础,用以制造受力构件所用的材料。当然,结构材料对物理或化学性能也有一定要求,如热导率、抗辐照、抗腐蚀、抗氧化等。功能材料则主要是利用材料特有的物理、化学性质或生物功能。利用材料物理性能的功能材料有电子材料、光电材料、半导体材料、磁性材料、导电材料、磁性材料、光学材料等;利用其化学性能的功能材料有储氢材料、敏感材料等。

通常,也将材料分为传统材料和新型材料。传统材料是指那些已经成形且在工业中已经批量生产并大量应用的材料,如钢铁、水泥、塑料等,这类材料由于用量大、产值高、涉及面广泛,又是很多支柱产业的基础,所以又称为基础材料。新型材料(先进材料)



建立在新思路、新概念、新工艺、新检测技术的基础上,以材料的优异性能、高品质、高稳定性参与竞争,是具有优异性能和应用前景的一类材料,属高新技术的一部分。新型材料与传统材料之间并没有明显的界限,它们是互相依存、互相促进、互相转化、互相替代的关系。传统材料通过采用新技术,提高技术含量,提高性能,大幅度增加附加值,就可以成为新型材料;新材料在经过长期生产与应用之后也就成为传统材料。传统材料是发展新材料和高技术的基础,而新型材料又往往能推动传统材料的进一步发展。

本书的材料分类方法综合考虑了上述几种分类方法的特点,同时兼顾山东省材料科学研究的实际情况和材料研究的发展方向,将材料分为以下几大类:金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料、复合材料、功能材料、半导体材料、人工晶体材料、纳米材料、生物医用材料、建筑材料、生态环境材料。这样的分类方法既考虑到传统的材料分类方式,又新增了按使役行为的分类;考虑到山东省晶体材料研究多年来已形成自身鲜明的特色,将人工晶体材料单独列出;纳米材料科学与技术是当今材料领域研究的热点,独立成章来加以介绍,更能给大家一个比较清晰全面的认识;而构建和谐社会、保护自然环境则涉及我国的基本国策,于是将生态环境材料部分也重点加以介绍。

材料的结构与性能

璀璨夺目、价值连城的金刚石和黑漆漆的石墨是同宗兄弟,它们都是由碳元素组成的,只不过是碳与碳之间结合的方式不同而已。对金刚石而言,碳原子是以类似于金字塔的四面体方式结合在一起的,碳与碳之间的键连接贯穿整个晶体,各个方向都结合得十分完美,它是迄今为止天然存在的最硬的材料;而石墨是以平面六边形的层型结构堆积而成的,层与层之间存在着较弱的相互作用力,所以石墨就十分柔软,并且石墨层容易脱落。除了用来制作常见的铅笔芯之外,石墨还是良好的固体润滑剂。为什么同宗兄弟的差别会如此之大呢?要解答这个问题,还得从材料的结构与性能之间的关系着手。但仅此仍然不够,如果抛开材料的制备和材料的设计单纯讨论结构与性能的关系,容易造成片面性。我们



必须全盘考虑材料结构、性能、制备和设计这四大方面之间的内在联系。

大家都知道,埃及的金字塔虽然经历了几千年的风风雨雨,但是仍然屹立在北非的沙漠中,它的稳定性大家是有目共睹的,上面也提到正是金刚石有这种“金字塔式”的四面体结构,才使得它成为世界上最硬的材料。其实在材料科学领域本身也存在着一个“金字塔”,只不过这个金字塔的4个顶点分别是材料的结构、材料的性能、材料的制备、材料的设计(以材料的表征与分析为基础)。这4个方面覆盖了材料科学领域的方方面面,凝练了材料科学领域的全部内涵,它们相互依存,缺一不可。材料的制备是这个金字塔的基础,材料不能制备,材料的结构与性能就无从谈起,材料的结构决定着材料的性能,材料的性能反过来又制约着材料的设计和制备,只有具有优良性能的材料才具有强大的生命力,应用驱动是探索新材料永不枯竭的动力源泉。

材料的结构是材料的组成单元(原子或分子)之间相互吸引和排斥作用达到平衡时的空间排布方式。从宏观到微观,材料的结构可分成不同的层次,即宏观结构、显微结构和微观结构。宏观结构是用肉眼或放大镜能够观察到的材料结构状态,通常是指毫米级及其以上尺度范围以内的结构状况,如材料中的晶粒尺寸、气孔、宏观裂纹等。显微结构又称亚微观结构,是借助于光学显微镜和电子显微镜才能够观察到的晶粒、物相的集合状态或材料内部的微区结构,其尺寸约为 $10^{-7} \sim 10^{-4}$ 米。比显微组织结构更细的一层结构即微观结构,包括原子和分子的结构以及原子和分子的排列结构。由于一般分子的尺寸很小,故将分子结构排列列为微观结构。

材料的性能取决于材料自身的结构,了解材料的结构是了解材料性能的基础。材料内部的结构与材料的化学组成及外部条件密切相关,因此,材料的性能与其化学组成及外部条件也是密切相关的。在材料的组成单元中,各个原子通过化学键结合在一起组成固体材料。各类材料,当键的结合方式不同,如为离子键、共价键、金属键或氢键时,便具有不同的结构和特性。因此,金属材料、



无机非金属材料、高分子材料的差异本质上是由不同的元素和以不同的键合方式造成的。

材料的性能包括材料的使用性能和工艺性能。使用性能是指材料有效、可靠地进行工作时所必须具备的性能,包括物理性能、化学性能和力学性能(机械性能)。工艺性能是指材料对各种成形、加工、处理等工艺的适应能力,或者说是用某种工艺方法对材料进行成形、加工、处理等,使之达到所要求的形状、尺寸和性能的难易程度。

材料的制备

目前,世界上可供人们使用的材料不计其数,材料的发展日新月异,几乎每天都有新材料、新产品问世。在材料科学中,制备工艺和技术显得尤为重要,它涉及一种材料是否有用,能否制成物美价廉的可用物件的关键问题。材料制备的内容十分丰富,既包括了诸如现代大钢铁采用的冶炼、铸锭、轧制等技术,也包括了制备半导体集成电路所需的单晶生长、分子束外延、金属有机化合物气相沉积制备薄膜等,同时也包括了制备各种微纳材料乃至量子点、量子线的近代制备技术。从微观、介观到宏观,从制备高纯单一元素材料到多种材料的复合,各种制备方法,包括物理的、化学的、机械加工的各种方法综合应用,对于新材料的研究、应用乃至实用化起着决定性的影响。新的制备方法促进了新材料的发展,而新材料的发展又往往带动了材料制备技术的发展。在现代科技的发展中,新材料和新制备技术密不可分,如光子晶体就是由材料制备新技术所制备的自然界不存在的全新的人工材料。材料制备技术促进材料之例处处皆在,下面我们举几例加以说明。

铝是大家熟知的一种金属,我们天天都和铝制品打交道,但是,由于铝是一种比较活泼的金属,自然界中只有氧化铝存在,并不存在单质铝。直到1854年,法国化学家德维尔发明了一种可以较大量地获得铝的技术。他用比铝更活泼的金属钠夺取氧化铝中的氧而获得铝。这种方法十分昂贵,在当时每千克铝的售价竟高达200多美元以上,使铝成为像黄金一样昂贵的金属,以至于法国国王宴请大臣们的时候自己使用铝制餐具,而大臣们则使用黄金



或白银餐具。

1886年,英国一名22岁的青年学生霍尔与法国一名与他同龄的年轻化学家埃罗在两个不同的实验室几乎同时发明了一种新的炼铝技术。他们发现虽然氧化铝的熔点非常高(2 150) ,但是在氧化铝粉末中加入冰晶石粉末可以使其熔点大大下降。他们将这种混合物融化,通以电流,结果纯铝就在阴极上沉积下来。

霍尔、埃罗的炼铝方法使铝成为一种比较便宜的金属。这种方法几经改进,使铝的价格不断降低,产量逐年提高。现在,铝及铝合金已经成为一种用量仅次于钢铁的家喻户晓的金属材料。

提到金刚石,大家都知道它是一种价值连城的宝石。从古到今,人们都把美丽的天然金刚石加工成贵重的装饰品。在古代,钻石被镶嵌到王冠和权杖上,是财富和权力的象征。

科学研究表明,金刚石和石墨的成分都是碳,它们是碳的两种同素异形体。1799年,法国化学家摩尔沃曾经成功地把一颗金刚石转变为石墨。虽然这项发明没有实用价值,但是它的科学意义是证明了金刚石和石墨是同素异构的兄弟。

金刚石的密度比石墨的密度大55%,为什么不能对石墨施加压力迫使组成石墨的原子排列成金刚石所固有的那种紧密排列呢?科学家经过半个多世纪的不懈努力,在1955年发明了一种高温高压新技术,使石墨在高温高压及金属触媒参与下转变成了闪亮的金刚石。目前,人造金刚石的年产量已达数2亿克,人造金刚石工具已经成为机械、材料加工、石油钻探、地质探矿的重要工具。

1948年,美国贝尔实验室的物理学家肖克利、布拉顿和巴丁研制成功了世界上第一只晶体三极管,这一伟大发明为现代信息产业奠定了基础。为此,他们3人共同荣获了1956年的诺贝尔物理学奖。与这一发明具有同样意义的是同期发明成功的区熔法半导体提纯技术和硅、锗单晶生长技术,以及化学气相法半导体薄膜外延技术。用于制造半导体器件的材料必须具有高纯度,区熔提纯可以使硅、锗半导体内的杂质总含量小于 10^{12} ,也就是说在1万亿个硅原子中杂质原子的含量不超过10个。半导体晶体要求高的完整性,提拉法单晶生长技术解决了这一问题。在制造半导体器



件之前,必须通过定量掺杂技术在硅片上生长导电机理不同的 N 型和 P 型半导体薄膜。化学气相外延技术的发明实现了这一目的。正因为有了这一系列创新技术,才保证了半导体晶体管和半导体集成电路的高质量,以及生产效率的大大提高,成为新一轮技术革命的“领头羊”。

上述事例说明,材料制备技术是多么重要啊!

材料的表征与分析

材料表征与分析技术是指对材料的化学组成、内部组织结构形式乃至各类原子排列状况和材料基本特性的检测分析技术和手段。它是材料充分发挥作用的前提和基础。早期的材料的表征与分析手段简单单一,除简单地称称质量外,基本上是靠能工巧匠的肉眼观察或依靠多年积累的经验对材料作一定的评估。近代科学的发展使这些经验建立在物理、化学理论和实验的基础之上。通过对材料性能的全面分析,掌握材料组分及组织的各种特征,从而为材料的设计、加工提供信息,以保证材料满足使用的要求。因此,材料性能的测试技术,即对材料组织从宏观到微观不同层次的表征技术,不仅构成了材料生产工厂和实验室鉴定材料产品质量、判断生产工艺是否完善的常规手段,而且成为材料科学技术的一个重要组成部分。

由于一种材料可以有多方面的应用,所以材料的表征也必然是多方面和多样化的,如形貌(即几何学)、力学、热学、光学、磁学、电学、化学、生物学等方面的特征。早期的材料检测仅包括借助化学分析对材料的组成进行元素分析,用肉眼检查材料的完整程度及破坏端口,用简单的机械试验材料的力学性能等。从 19 世纪起,冶金学受到重视,19 世纪末到 20 世纪初,钢的一般成分的化学分析方法已经建立,通过物理性能测定或热分析方法研究相转变也积累了经验。1863 年英国人索比发明了金相技术,为研究材料中的相组成及显微结构提供了有力的工具。20 世纪 20 年代以后,X 射线衍射分析对材料的结构测定起了重要作用,利用 X 射线可以对材料内部进行“透视”。20 世纪 50 年代,应用电子显微镜及一大批现代显微镜和各种不同的谱仪,对材料的组分、结构以及微



观结构做了深入的研究,如位错的存在与运动、表面与界面的结构及作用等研究,澄清了许多关键问题。使材料的表征与分析从微米尺度深入到纳米甚至原子、分子的层次。现代材料表征与分析技术的进步大大减少了选择、处理和使用材料的盲目性,促进材料的研究与生产向人工设计的方向迈进。

材料表征与分析技术发展的共同要求是快速、低成本、高灵敏度、适用性强和结果准确,信息技术对此将起到重要的推动作用。今后材料表征与分析的发展趋向有以下几个特点:

(1) 表征与分析的层次向更细微的尺度发展。随着认识的深入和低维材料的发展,探测更小尺度的要求日益强烈。作为显微表征分析的重要技术——电子显微术和扫描隧道显微技术等新技术和新仪器,已经将发展的前沿放在对表面及极微细粒子的微观结构观察上。微电子学、纳米材料与技术、金刚石膜等高新技术和新材料的发展,也推动检测手段向更细微的层次深入。

(2) 随着研究的深入,不仅需要了解材料相对宏观的内部信息,还要深入研究材料的表面、内部的各种界面和特殊微观区域的信息,而且随着材料向低维化的发展,传统的表征方法显然不能满足需要了,因此,相继出现了许多新的方法。例如,实用表面与界面分析技术自20世纪70年代以来得到迅速发展。

(3) 高精尖表征仪器的开发和应用。在材料性能测试中,检测的精细程度很大程度受到仪器水平的限制。因此,表征技术的发展不可忽视高精尖仪器的研制以及相关技术领域成果的借用。近年来,随着传感技术、电子技术、自动控制技术和计算机技术的发展,现代表征技术已进入到以采用计算机控制和数据处理为特征的信息加工阶段,可以更精确、更广泛地采集和利用各种物理效应,对材料的结构和性能进行更科学准确的分析评价。

随着信息技术和材料科学的发展,材料的表征与分析技术必然会有更广阔的发展空间,表征技术将更加科学、精确,更好地揭示材料的物理本质和准确反映材料的行为规律,不断满足新材料研究测试的需求,与新材料开发和应用相互促进、共同发展。

(赵显 蒋民华)



第二章

金属材料

金属材料

说起金属,我们肯定不会陌生。做饭用的不锈钢锅,那里面主要含的是铁。灯泡的发明给我们的黑夜带来了光明,那里面发挥作用的主要是高熔点的金属钨。还有情人之间的定情信物,已经由铜、银、金发展到了现在的铂(白金)。在人类历史上,金属的使用比较晚,原因是金属在自然界中常以化合物的形式出现。

金属具有特有的光泽,一般不透明。如我们常见的金呈黄色,铜呈赤红色,还有很多金属呈现银白色光泽。这是因为金属内部有自由电子,受到阳光照射时吸收一定波长的光再反射出来的结果。金属还富有展性、延性及导热性、导电性。金属有延性,是说金属可以抽成细丝,例如白金丝可以拉到直径 2×10^{-4} 毫米。金属的展性是指可以压成薄片,例如50克黄金压成的金箔可以覆盖两个篮球场。金属之所以具有延展性,是因为当金属受到外力作用时,金属内原子层之间容易发生相对位移,金属发生形变而不易断裂,因此,金属具有良好的变形性。但也有少数金属,如锑、铋、锰等较脆,没有延展性。

各国对金属有不同的分类方法。有的分为铁金属和非铁金属两大类,铁金属指铁及铁合金,非铁金属则指铁及铁合金以外的金属。有时也称铁金属为黑色金属,而称非铁金属为有色金属。

黑色金属并不是指黑颜色的金属,而是指铁、锰、铬3种金属,它们的单质为银白色。之所以叫黑色金属,是因为钢铁表面常覆



盖着一层黑色的三氧化二铁,而锰和铬主要应用于制造合金钢,所以将铁、锰、铬及它们的合金叫做黑色金属。这样分类,主要是从钢铁在国民经济中占有极重要的地位出发的。

有色金属是指黑色金属以外的金属,大多数为银白色,少数有其他颜色(铜为赤红色、金为黄色)。有色金属有 60 多种,又可分为 4 类:

(1) 重金属:一般是指密度在 4.5 克/立方厘米以上的金属。例如铜、锌、镍、钨、钼、铋、铊、铅、锡、镉、汞等,过渡元素大都属于重金属。

(2) 轻金属:密度在 4.5 克/立方厘米以下的金属。例如钠、钾、镁、钙、铝等。周期系中第 I A(除氢外)、II A 族均为轻金属。

(3) 贵金属:指金、银、铂、铑、钯、铱、钇、铕等 8 个元素。它们之所以被誉为贵金属,是因为它们的物理、化学性质极其稳定,色泽瑰丽,在人类生活中常被用做贵重首饰或货币,也因为它们具有稳定而优良的性质,在现代高科技中广为应用。但是这些金属在地壳中含量较少,不易开采,价格较贵,所以叫做贵金属。

(4) 稀有金属:通常指在自然界中含量较少或分布稀散的金属。它们难于从原材料中提取,因此在工业上制备及应用较晚。稀有金属和普通金属并没有严格的界限,如有的稀有金属在地壳中的含量比铜、汞等金属还要多。

各种各样的金属在我们的生活中发挥着各自的作用,如果没有金属,我们的生活中就没有高楼大厦,没有飞机火箭;如果我们身体中缺少钙、铁、锌等微量元素等,就会发生不适;但是如果我们误食了汞和铅等,就会产生重金属中毒。各种金属都施展着自己的本领,使我们的世界多姿多彩。我们不仅要大力开发好的金属来为我们服务,也要意识到金属可能对人体健康的危害。

工业的骨骼——黑色金属

石油是工业的血液,钢铁是工业的骨骼。钢铁构建了现代社会的主要框架,离开钢铁,现代社会就会瘫痪。在日常生活中,钢铁是随处可见的,从火车到汽车,从运动场到家庭,随处都可以发现钢铁的身影。



钢铁是黑色金属的主体,黑色金属主要指铁、锰、铬及其合金,如钢、生铁、铁合金、铸铁等。纯净的铁、铬并不是像我们日常生活中见到的颜色,它们是银白色的,而锰呈银灰色。钢铁表面通常会有一层黑色的四氧化三铁,有时还有一层我们称之为“铁锈”的氧化物,锰及铬则主要应用于冶炼黑色的合金钢,这三种金属都是钢铁的主要成分,所以被称为“黑色金属”。黑色金属的产量约占世界金属总产量的95%左右。

既然黑色金属家族这么庞大,为了方便,还将它们再分成几类。根据是否含有合金元素来分,钢又可分为碳素钢和合金钢。碳素钢按照冶炼质量又分为普通碳素钢和优质碳素钢;合金钢则有普通合金钢和特殊钢之分。按照用途可把钢分为结构钢、工具钢和特殊性能钢。结构钢主要用于制作结构件及机器零件;工具钢用于制作各种工具件。根据不同用途又可以分为刃具钢、模具钢和量具钢。特殊性能钢是指具有特殊性能的钢,如不锈钢、耐热钢、耐磨钢等。

铁矿和锰矿是我国的主要矿产资源之一,藏在深深的地下等待我们去发现、去开采,使其能够在人们的生活中充分体现自己的价值。

黑色金属在我国的发展已经历了十分漫长的时期,历史上有铁器时代之说,是铁资源充分发挥其优势的时期,形成了几个主要特点:加工工艺比较成熟,成本低,加工难度小,强度高,易于回收等。

除此之外,在黑色金属中还有许多“特种队员”,例如汽车发动机和传动系统均由特殊钢制造,发动机气阀弹簧、离合器膜片弹簧等都采用弹簧钢制成,汽车中的变速箱齿轮、后桥齿轮等采用齿轮钢制成,曲轴、连杆、转向节、缸盖螺栓等则一般采用调制钢制造。

为生活增光添色的有色金属

当你打开收音机和电视机等电器的机壳时,你会发现里面有镍铜线(或镍铬线)绕成的电阻,有用硅钢片和铜线绕成的变压器;至于彩电荧光粉,则是用稀土元素钇、铕、铽的化合物制成的;在移动电话的电路板上,你会发现金、银、钯、钴、锡等众多金属,稀



有金属钽、铌的化合物用在手机里做滤波器 ;铟、锡的化合物是制造手机、手提电脑、平板电视显示屏的重要材料 ;用银的化合物做感光剂制成的胶卷 ,感光速度快 ,即使在微弱的光线下也能拍出非常清晰的照片 ;节日的夜晚 ,五彩缤纷的烟花发出的耀眼强光是镁、铝、钛、锆等金属化合物发出的 ;红光是钾(或铯)、绿光是钡、蓝光是铜等金属的盐类产生的 ;在高空中高速飞行的喷气式飞机 ,它的机翼和发动机是用质量轻又结实的金属钛制成的 ,钛也是制造火箭、导弹、人造卫星、宇宙飞船、坦克、潜水艇、水雷等的重要材料。

这些为我们的生活增光添色的金属都归于有色金属的范畴。在周期表所列的 93 种金属元素中 ,有 64 种金属属于有色金属 ,是物质世界的主要“成员”。有色金属因其种类繁多 ,性能各异 ,在不同领域发挥着重要作用。

金属铝色泽银白 ,体轻性软 ,可拉成纤毫之微的丝 ,压成薄如蝉翼的片 ,且不易生锈 ,价格便宜。铝合金具有密度低、强度高、耐腐蚀、导电导热性能好以及加工性能好等优良品质 ,因而发展非常迅速 ,是航空航天、交通运输、民用等领域不可或缺的重要材料 ,其用量之多、范围之广仅次于钢铁 ,成为第二大金属 ,产量占整个有色金属产量的 1/3 以上。

金属镁的比强度、比刚度高 ,导热、导电性能好 ,电磁屏蔽、阻尼性能好 ,价格低廉 ,是新世纪最有发展潜力的金属材料之一。目前 ,全球用于汽车零部件的镁合金用量以每年增长 15% 的速度增长。在笔记本电脑、手机、照相机等电器产品上 ,镁合金的用量也越来越大。

此外 ,还有铜、锡、金等其他许多有色金属 ,也被广泛用于各个领域 ,其例子举不胜举。

我国有色金属工业发展极快 ,2003 年 ,我国 10 种常用有色金属(铜、铝、铅、锌、镍、镁、锡、钛、汞、锑)的产量已飙升到 1 000 万吨以上 ,成为世界有色金属第一生产大国。国内开发的铝稀土合金锭、镁合金腐蚀阳极、铸造锌合金、干电池锌饼等冶金新产品 ,铝合金门窗、瓦楞板、百叶带、易拉罐、铝塑复合包装袋、铝轮毂、铝制散热器、太阳能管板集热器、彩色板、空调机散热器铜管等数千个



品种、数万种规格的有色加工产品,在我国经济与国防建设中发挥着无可替代的作用。

我国在有色金属高性能材料、新型材料加工技术等方面取得了重大进展。铝合金新材料的性能大幅度提高,部分高强高韧铝合金、铝锂合金、喷射沉积快速凝固耐热铝合金的性能达到国际先进水平,镁合金新材料的研究水平得到了明显提高,开发了 ZM1 ~ ZM10 等十几个牌号的镁合金,通过细化、净化、微合金化等手段,使铸造镁合金的性能大幅度提高,镁合金铸件、压铸件已应用于汽车和摩托车等领域。钛合金材料形成了具有不同使用温度的高温钛合金;具有不同抗拉强度与塑性、韧性匹配的结构钛合金;具有不同屈服强度的舰船用钛合金和适用不同环境(介质)的耐蚀钛合金等四大系列。我国钛合金的研究水平已大体与国外接近。

今后我国将在有色金属方面大力发展新型功能材料。

铝合金

当你喝饮料的时候,你是否知道自己手中握着的易拉罐是铝合金制造的。看看你的周围,从厨房里洁净的厨具到时尚家电的外壳,从汽车闪亮的轮毂到汽车发动机的活塞,从包装药品的铝箔到漂亮轻便的门窗,无处不在地展示着铝合金的“风范”。在众多的有色金属中,铝合金之所以能获得领头地位,一是它质量轻,比强度、比刚度相对于钢有较大的优势,其弹性模量是钢的 $1/3$;二是具有良好的导热、导电性能;三是有很好的抗大气腐蚀能力,并且无毒;四是几乎可以铸造和加工成任何形状。正是因为有了这么多的优点,铝合金被广泛地应用于建筑和结构业、运输业、容器和包装业、电器工业、航空工业等领域中,成为应用最广的有色合金。

铝合金可分为形变铝合金和铸造铝合金两大类。前者是将合金熔化成铸锭,再经压力加工(轧制、挤压、模锻)成形而得,要求合金有良好的塑性变形能力。后者是将熔融的合金液直接浇入铸型中获取成形铸件,要求合金应有良好的铸造性能,尤其是流动性要好。

就像每个人都有自己的名字一样,铝合金也有自己的代号,那就是它们的牌号。形变(或变形)铝合金按性能特点分为 4 类:防



锈铝、硬铝、超硬铝以及锻铝,它们的牌号分别以 LF、LY、LC、LD 开头。防锈铝合金主要属 Al-Mn 系及 Al-Mg 系合金,是不可热处理强化的。该类合金的特点是抗蚀性、焊接性和塑性好,易于加工成形,具有良好的耐低温性能,但其强度较低,只能通过冷变形产生加工硬化,且切削加工性能较差。硬铝合金属 Al-Cu-Mg 系,一般含有少量的 Mn,可热处理强化,其特点是硬度大,但塑性较差。超硬铝属 Al-Cu-Mg-Zn 系,可热处理强化,是室温下强度最高的铝合金,但耐蚀性差,高温软化快。锻铝合金主要是 Al-Cu-Mg-Si 系合金,虽加入的元素种类多,但由于含量少,因而具有优良的热塑性,适宜锻造,故又称锻造铝合金。

铸造铝合金的牌号用“铸铝”两字的汉语拼音字首“ZL”及 3 位数字表示。第一位数表示合金类别(如 1 为 Al-Si 系、2 为 Al-Cu 系、3 为 Al-Mg 系、4 为 Al-Zn 系)。其中,Al-Si 系铸造合金的应用最广泛,又称为铝硅明。此类合金有优良的铸造性能,热裂倾向小,工业中常用变质的方法改善其力学性能。Al-Cu 系铸造铝合金是工业上最早采用的铸造铝合金,其耐热性居铸造铝合金之首。淬火后的 Al-Mg 系铸造铝合金不仅强度提高,塑性较好,且耐蚀性优异。Al-Zn 系铸造铝合金是最便宜的一种铸造铝合金,该类合金具有良好的铸造性能、切削性能、焊接性能及尺寸稳定性。铸态下就有时效硬化能力,且强度较高,故有“自强化合金”之称,但铸造时吸气及热裂倾向大,尤其是耐蚀性差。

从远古时代走来的金属——铜

在 3 000 年前中国人的祭典中,一种混合着自然界中各类动物的特征组合而成的纹饰——饕餮纹,在熊熊的烈火中,怪兽怒目凝视,咧着大口,露出獠牙,一对锋利的爪子,额上有一对立耳或角,虽见狰狞,却神秘而美丽。而如此珍贵而又神奇的传世宝鼎,便是由我们日常生活中常见的金属铜和锡的合金——青铜制成的。

铜是人类历史上最早使用的金属之一,我国是最早使用铜器的国家之一。约在公元前 8000 年,地中海东岸和美索不达米亚地区已有人使用铜。公元前 5000 年,人类发现了冶炼铜的方法。约公元前 3500 年,居住在美索不达米亚地区的苏美尔人无意中把铜