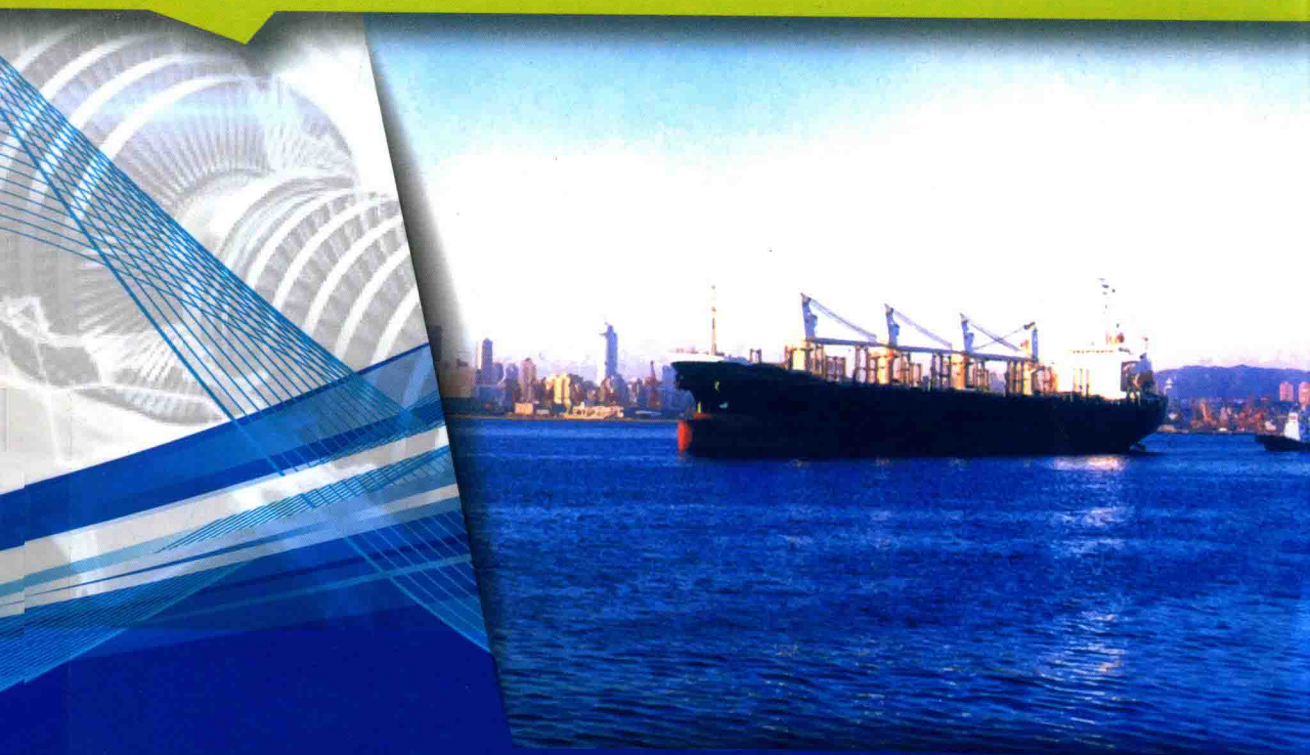


轮机工程材料

主 编 朱新河 付景国
主 审 徐久军



大连海事大学出版社

商 自

號號(910)自創道古非傳

轮机工程材料

主 编 朱新河 付景国

主 审 徐久军

編者

2018年5月

ISBN 978-7-313-18105-1

付景国

ISBN 978-7-313-18105-1

8105

付景国

付景国

付景国

付景国

付景国

付景国

付景国

付景国

付景国

付景国

大连海事大学出版社

© 朱新河 付景国 2018

图书在版编目(CIP)数据

轮机工程材料 / 朱新河, 付景国主编. — 大连:
大连海事大学出版社, 2018.9

ISBN 978-7-5632-3696-1

I. ①轮… II. ①朱… ②付… III. ①轮机—工程材
料—高等学校—教材 IV. ①U668

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 214379 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail:cbs@dmupress.com

大连住友彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2018年9月第1版

2018年9月第1次印刷

幅面尺寸:184 mm × 260 mm

印张:15.5

字数:385 千

印数:1 ~ 2000 册

出版人:徐华东

责任编辑:宋彩霞

责任校对:张 华

封面设计:张爱妮

版式设计:张爱妮

ISBN 978-7-5632-3696-1

定价:34.00 元

前 言

轮机工程材料是轮机工程专业的专业基础课之一,本书是根据大连海事大学教材出版计划、“轮机工程材料”课程教学大纲和教学基本要求,在满一新教授原《轮机工程材料》的基础上编写的。本书阐述了工程材料的结构、组织、性能之间的关系;重点介绍了轮机工程中常用的金属材料(钢、铸铁、有色金属及其合金等)、高分子材料、陶瓷材料、复合材料的分类、牌号以及它们的工程应用等基本知识;最后还介绍了轮机工程中主要零件的选材等。为了满足轮机工程专业学生扩大知识面和毕业后工作的需要,在本书第11章还介绍了船舶与海洋工程结构用钢的应用。在编写过程中,作者搜集了国家最新的标准和材料在实际工程中应用情况等。

本书可作为轮机工程专业学生的教材,也可供船舶与海洋工程专业的技术人员学习、参考。

本书共分11章,第1章由付景国编写,第2章由杜凤鸣编写,第3章由马春生编写,第4章由黄朝明编写,第5、6章由刘一梅编写,第7章由李国宾编写,第8章由严志军编写,第9、10章由程东编写,第11章由朱新河编写,附录由付景国编写。全书由朱新河统稿,由徐久军主审。本书在编写的过程中,得到了劳氏船级社的任旭东、大连船用柴油机有限公司的黄娟、大连船用推进器有限公司的权林林、中远船务有限公司(大连)的王天龙等人提供的信息和帮助,在此表示感谢!

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2018年3月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 物质的状态	(2)
1.2 固态物质的结合键	(4)
1.3 工程材料的分类	(8)
1.4 金属冶炼和金属加工	(9)
第2章 金属材料的性能	(17)
2.1 金属的力学性能	(17)
2.2 金属的工艺性能、物理性能和化学性能	(25)
第3章 金属的晶体结构和结晶	(28)
3.1 金属的晶体构造	(28)
3.2 金属的结晶	(34)
第4章 金属的塑性变形和再结晶	(40)
4.1 金属的塑性变形	(40)
4.2 塑性变形对金属组织和性能的影响	(46)
4.3 回复与再结晶	(48)
4.4 金属的热加工	(52)
第5章 合金的构造与合金相图	(54)
5.1 合金的构造	(54)
5.2 合金相图	(57)
5.3 合金的性能与相图的关系	(65)
5.4 铁碳合金相图	(66)
第6章 钢的热处理	(79)
6.1 钢在加热时组织的转变	(79)
6.2 钢在冷却时组织的转变	(84)
6.3 钢的退火与正火	(90)
6.4 钢的淬火及淬火钢的回火	(93)
6.5 钢的表面改性热处理	(99)
第7章 工业用钢	(108)
7.1 钢中杂质与合金元素	(108)
7.2 钢的分类与编号	(113)
7.3 结构钢	(119)
7.4 工模具钢	(135)
7.5 特殊性能钢	(143)

第 8 章 铸 铁	(152)
8.1 铸铁的性能及特点	(152)
8.2 灰铸铁	(154)
8.3 可锻铸铁	(157)
8.4 球墨铸铁	(160)
8.5 蠕墨铸铁	(162)
8.6 特殊性能铸铁	(163)
第 9 章 有色金属及其合金	(166)
9.1 铝及其合金	(166)
9.2 铜及其合金	(172)
9.3 钛及其合金	(180)
9.4 镍及其合金	(182)
9.5 轴承合金	(184)
第 10 章 其他材料	(189)
10.1 高分子材料	(189)
10.2 陶瓷材料	(196)
10.3 复合材料	(197)
第 11 章 船体和船机典型零件的选材与关键热处理	(202)
11.1 机械零件的选材原则和方法	(202)
11.2 船舶动力装置主要零件的选材和热处理	(206)
11.3 船体材料的选用	(220)
11.4 船舶管路系统常用材料的选择	(228)
附录 I 国内外常用钢号对照表	(235)
附录 II 力学性能新旧符号对照表	(240)
参考文献	(242)

第1章 绪论

所谓材料,是指经过某种加工,具有一定的组分、结构和性能,并具有一定用途的物质。材料是人类生存和生活必不可少的部分,是人类文明的物质基础和先导。材料的发展及其应用是人类社会文明和进步的重要里程碑。

按照人类所使用的材料来进行划分,人类历史可以分为石器、青铜器、铁器和信息材料时代。在群居洞穴的猿人所生活的旧石器时代,人类通过简单加工获得石器,帮助人类狩猎、护身和生存。在公元前6000年—公元前5000年的新石器时代,我们的先人就能使用黏土烧制陶器,到东汉时期又出现了瓷器。4000年前的夏朝时期,我们的祖先已经能够炼铜,到殷商时期,我国的青铜冶炼和铸造技术已经达到很高水平。从公元前770年的春秋战国时期开始大量使用铁器,由铁制作的农具、手工工具及各种兵器得以广泛应用,促进了当时社会的发展。1886年,出现用电化学方法冶炼铝,使铝成为一种常用金属。1939年,尼龙的商业应用推动了高分子材料发展的关键时期的到来。中华人民共和国成立后,我国先后建起了鞍山、攀枝花、宝山等大型钢铁基地,钢产量也在逐渐上升。20世纪,半导体硅、高集成芯片的出现和广泛应用,把人类由工业社会推向信息和知识经济社会。

现在人们已将信息、能源和材料并列为现代文明和生活的三大支柱。在三大支柱中,材料又是能源和信息的基础。新材料既是当代高新技术的重要组成部分,又是发展高新技术的重要支柱和突破口。正是因为有了高强度的合金、新能源材料及各种非金属材料,才会有航空工业和汽车工业;正是因为有了光纤,才会有今天的光纤通信;正是因为有了半导体的工业化生产,才有今天高速发展的计算机技术和信息技术。比如在船用金属材料中加入碳、硼、硫、铅、锆以及磷等合金元素可以改善金属的物理及机械性能。这些元素可以使船体的钢板具有更好的抗拉强度、抗腐蚀性能、韧性等;可以使船舶发动机中的高速运动部件(如增压器)、易磨损零部件(如活塞、气缸套)具有更好的耐磨、耐高温、耐腐蚀性能。还有一些新能源材料在船舶雷达等导航、定位设备中的应用,使船舶实时通信更方便快捷。

随着人类对材料的性能与微观结构的研究与认识的加深,决定材料性能的本质已被或正在被人们揭示和掌握,在日益成熟的现代材料设计理论的指导下,通过新工艺、新技术、新设备,不断创造出各种性能更好的新型材料。结构材料的性能在向强度、刚度、韧性、耐高温、耐腐蚀、高弹、高阻尼大幅度提高的方向上发展。高性能结构材料不断出现和广泛应用,促进新产品向体积小、重量轻、资源省、能耗低、成本低、利润高的方向发展。功能材料的开发也在由单一功能向多种功能方向发展,并把功能材料与元器件结合起来,实现一体化,即材料本身就具有元器件的功能,这样就促进了元器件的小型化和多功能化。仿生材料是近年来与信息科学紧密结合而产生的,它同时具有感知和记忆双重功能。如形状记忆合金、压电陶瓷、光导纤

维、磁致伸缩材料等。智能材料是一种超功能材料,其功能往往能够解决传统材料难以解决的技术难题。人们通过研究自然界中生物体的物质结构及其特有的功能,获得一种制备新材料的思路和途径,并在某些材料的设计和制造中加以模仿,用现有简单而丰富的原料,通过错综复杂的生物过程制得高强度和多功能的新材料。例如,美国空军采用智能材料制造的飞机机翼,可随工作状态的不同自动调节形状,改变升力和阻力,以适应飞机的起降,使飞机更加安全,降低油耗。将微型分子传感器植入材料的分子结构中,用这些材料建造的构件和建筑物可进行自动监控,如果超负荷或者老化可发出警报。人们通过把水溶性的蛋白质分子纺织成既坚韧又不溶解的人造蛛丝,用来制作军用品。

1.1 物质的状态

物质的状态是指一种物质出现不同的相。物质是由离子、原子或分子等粒子组成的。粒子之间的相互作用及其热运动决定了物质的状态。随着温度、压力等外界条件的不同,物质具有不同的状态。

日常生活中,人们在地球上常见到的物质主要是固态、液态和气态三种。现代科学发现,自然界的物质除了固、液、气三态以及一系列的过渡态之外,还有第四态、第五态、第六态等。

1.1.1 固体状态

当粒子之间的距离很近且粒子间的相互吸引力比粒子的动能大得多时,物质处于固体状态。物质在固态时的突出特征是有一定的体积和几何形状。固态物质在不同方向上物理性质可以不同,称为各向异性。

在固体中,粒子有规律地排列。根据排列特点不同可分为非晶体、晶体和准晶体三大类。

(1) 非晶体

非晶体是指结构无序或短程有序而长程无序的固体物质,且组成物质的分子(或原子、离子)不呈空间有规则周期性排列,它没有一定规则的外形,能呈现弹性形变。它的物理性质在各个方向上是相同的,呈各向同性。它没有固定的熔点,具有较高的能量,结构不稳定,处于亚稳态,在一定条件下可以转变为晶体。

(2) 晶体

大多数固体是晶体,如金属材料。构成晶体的粒子在三维空间里呈规则、周期性排列,呈现长程有序,具有一定的平移、旋转、反映和倒反对称性,存在1、2、3、4和6次旋转对称性。晶体具有固定的熔点及各向异性的特点。

(3) 准晶体

准晶体是介于晶体和非晶体之间的固体。准晶体具有与晶体相似的长程有序的原子排列,但不具备晶体的平移对称性,存在5次旋转对称性,像五边形一样排列,具有准周期性。准晶体材料的导电、导热性较差。



1.1.2 液体状态

液体与固体不同,液体具有各向同性,这是因为物体由固态变成液态的时候,温度的升高使得粒子运动剧烈而不再保持原来的有规律的固定排列,于是就产生了流动。但这时粒子间的吸引力还比较大,使它们不会分散远离,所以液体仍有一定的体积。液体中的分子虽然与固体中分子一样,紧密排列而成,但不是具有严格周期性的密堆积,而是一种较为疏松的长程无序、短程有序堆积。液体与非晶体非常相似,但非晶体可被认为是一种没有流动性的液体,并且非晶体处于亚稳态,在外界扰动合适时,它可以向更为稳定的晶体转变,而液体只有当外界温度、压强变化到满足相变条件时才可能转变为晶体。

1.1.3 气体状态

气体状态是一种最简单的粒子体系。随着温度的逐渐升高,粒子间的距离增大,它们之间的引力可以忽略。气态物质的粒子的动能比较高,主要表现为粒子各自的无规则运动,这导致了我们所知的气体特性:有流动性,没有固定的形状和体积,能自动地充满任何容器;容易压缩;物理性质“各向同性”。

1.1.4 等离子态

在高温、放电或辐射的条件下,气体分子被离解成气体原子,大部分或全部原子及分子发生电离,外层电子脱离原子或分子,成为自由电子在空间运动。这时,失去一部分电子的原子或分子就成为正离子,得到电子的原子或分子则成为负离子。这种由分子、原子、正负离子和电子组成的混合气体叫作等离子体,也常被称作超气态。它和气体有很多相似之处,比如:没有确定的形状和体积,具有流动性,但等离子态也有很多独特的性质,呈现电中性,有着较高的导电性。人们常年看到的极光、闪电、流星以及点燃时的荧光灯,都处于等离子态。人类可以利用它释放出大量能量来产生高温,用于切割金属、制造半导体元件、进行特殊的化学反应等。在茫茫无际的宇宙空间里,等离子态是一种普遍存在的状态。宇宙中大部分发光的星球内部温度和压力都很高,这些星球内部的物质几乎都处于等离子态。等离子体的独特性质与固态、液态、气态截然不同,因此被称为物质第四态。

1.1.5 玻色-爱因斯坦凝聚态

在正常温度下,原子可以处于任何一个能级(能级是指原子的能量像台阶一样从低到高排列),但在非常低的温度下,大部分原子会突然跌落到最低的能级上,就好像一座突然坍塌的大楼一样。处于这种状态的大量原子的行为像一个超级原子。如果将物质不断地冷却,物质所有的原子都会变成同一个原子,这就是物质第五态——玻色-爱因斯坦凝聚态,它表示原来不同状态的原子突然“凝聚”到同一状态,有时简称玻爱凝聚态。

物理学家使用稀薄的金属原子气体,在激光冷却技术的支持下,利用电磁操纵的磁光阱技

术,实现了玻爱凝聚态。这些原子组成的集体步调非常一致,因此内部没有任何阻力。激光就是光子的玻爱凝聚,在一束细小的激光里拥挤着非常多的颜色和方向一致的光子流。超导和超流也都是玻爱凝聚的结果。玻爱凝聚体中的原子几乎不动,可以用来设计精确度更高的原子钟,以应用于太空航行和精确定位。

1.1.6 费米子凝聚态

量子力学认为,粒子按其高密度或低温度时的集体行为可以分成两大类:一类是费米子,得名于意大利物理学家费米;另一类是玻色子,得名于印度物理学家玻色。这两类粒子特性的区别是费米子凝聚态在极低温时表现得更为明显:玻色子全部聚集在同一量子态上,费米子则与之相反,更像是“个人主义者”,各自占据着不同的量子态;玻色-爱因斯坦凝聚态物质由玻色子构成,其行为像一个大超级原子,而费米子凝聚态物质是费米子。当物质冷却时,费米子逐渐占据最低能态,但它们处在不同的能态上,其会像人群涌向一段狭窄的楼梯一样凝聚,这种状态称作费米子凝聚态。

费米子凝聚态在超导技术上的应用前景非常广阔,有助于新一代超导体的诞生,而新一代超导体技术可在电力工程、电能输送、电动机与发电机的制造、磁流体发电、超导磁悬浮列车、超导计算机、超导电子器件、地球物理勘探、地质学、生物磁学、高能加速器与高能物理研究等众多领域和学科中大显身手。

自然界有着各种各样的物质和千变万化的物质运动(如机械运动、分子热运动、电磁运动、基本粒子运动、化学运动、生命运动、天体运动等),即万物之变决定了自然界物质形态的多种多样、各具特点。自然界必然存在更多的物质形态,而自然界物质形态的奥秘也是不可穷尽的。

1.2 固态物质的结合键

一切物质都是由无数微粒按一定的方式聚集而成的,其可能是分子、原子或离子。这些微粒是组成材料最基本的物质,被称为材料组元。而材料组元的结构直接影响组元间的结合方式,组元的结合方式和排列方式又决定了物质的性能。物质的分子与分子之间、原子与原子之间是靠结合键聚集在一起的,由于结合键不同,故可将材料分为金属、无机非金属和高分子材料。

结合键主要分为化学键和物理键两大类。化学键即主价键,它包括金属键、离子键和共价键三种;物理键主要表现为分子键或范德华键。

化学键是纯净物分子内或晶体内相邻两个或多个原子(或离子)间强烈的相互作用力的统称。使离子相结合或原子相结合的作用力通称为化学键。物理键主要体现为分子间或原子间的范德华力。化学键存在于分子内,是将原子结合成分子的力;物理键主要存在于分子间,是保持物质聚集状态的力。两者大小相差好几个数量级。

1.2.1 金属键

金属键是一种改性的共价键,它是由多个原子共用一些自由流动的电子形成的。固态金属原子的最外层轨道上的电子数少且容易丢失,当金属原子相互靠近时,这些外层电子就脱离原子,成为自由电子,为整个金属所共有,自由电子在金属内部运动,形成电子气。金属原子失去电子而形成带正电荷的离子。这种由自由电子和金属正离子相互作用所构成的化学键称为金属键,如图 1-1 所示。绝大多数金属均为金属键结合,它的基本特点是电子的共有化。金属键既无饱和性又无方向性,因而每个原子有可能同更多的原子相结合,并趋于形成低能量的密堆结构。当金属受力变形而改变原子之间的相互位置时,不至于使金属键破坏,这就使金属具有良好延展性。由于自由电子的存在,金属一般都具有良好的导电和导热性能。

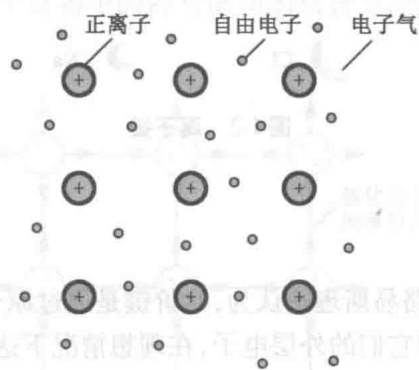


图 1-1 金属键

1.2.2 离子键

离子键通过原子间电子转移形成正、负离子,是由静电作用形成的。通过两个或多个原子或化学基团失去或获得电子而成为离子后形成离子键,是电子转移的结果。带相反电荷的离子之间存在静电作用,当两个带相反电荷的离子靠近时,表现为相互吸引,而电子和电子、原子核与原子核之间又存在着静电排斥作用,当静电吸引与静电排斥作用达到平衡时,便形成离子键。大多数盐类、碱类和金属氧化物主要以离子键方式结合,这种键的基本特点是以离子而不是以原子为结合单位。

离子键的结合力很大,因此离子晶体的硬度高、强度大、热膨胀系数小,但脆性大。离子键很难产生可以自由运动的电子,所以离子晶体都是良好的绝缘体。但当处在高温熔融状态时,正负离子在外电场作用下可以自由运动,即呈现离子导电性。在离子键结合中,由于离子的外层电子比较牢固地被束缚,可见光的能量一般不足以使其受激发,因而不吸收可见光,所以典型的离子晶体是无色透明的。 Al_2O_3 、 MgO 、 TiO_2 、 NaCl 等化合物都是离子晶体。

以 NaCl 为例,如图 1-2 所示,从原子结构看,钠原子最外电子层上有 1 个电子,容易失去;氯原子在外电子层有 7 个电子容易得到一个电子。当钠原子与氯原子相遇时,钠原子失去最外层的一个电子,成为钠离子,带正电,氯原子得到钠失去的电子,成为带负电的氯离子,阴阳离子的异性电荷的吸引作用,与原子核之间、电子之间的排斥作用达到平衡,形成了稳定的离

子键。

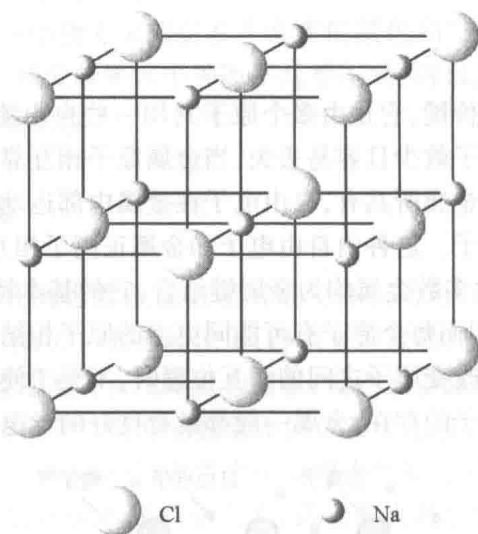


图 1-2 离子键

1.2.3 共价键

共价键的成因较为复杂,路易斯理论认为,共价键是通过原子间共用一对或多对电子形成的。两个或多个原子共同使用它们的外层电子,在理想情况下达到电子饱和的状态,由此组成比较稳定和坚固的化学结构叫作共价键。原子之间通过共用电子对形成相互作用。

共价键的结合力很大,共价晶体的强度和硬度高、脆性大、熔点和沸点高、挥发性低、结构较为稳定。因共用电子不能自由运动,所以共价晶体导电性差。在亚金属(C、Si等)、聚合物和无机非金属材料中共价键占有重要地位,它的主要特点是共用电子对。金刚石是典型的共价晶体,如图 1-3 所示。它是自然界中最硬的材料,完全由碳原子组成。每个碳原子有 4 个价电子,这些价电子与周围 4 个碳原子共用,形成共价键,构成完全由价电子对结合而成的三维点阵。硅、锗、锡等元素均可构成共价晶体。

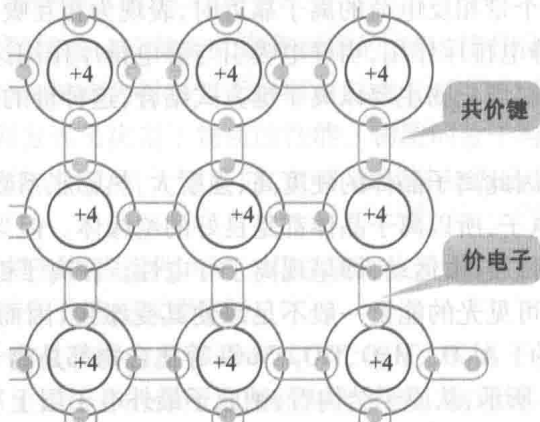


图 1-3 共价键

1.2.4 分子键

分子键亦称物理键或范德华键,是最弱的一种结合键。原子各自内部电子分布不均匀产生较弱的静电引力(称为范德华力),由这种分子力结合起来的键叫作分子键,是一种次级键,没有方向性和饱和性,比化学键的键能少1~2个数量级。不同的高分子聚合物有不同的性能,分子间的范德华力是其形成的一个重要条件,其在高分子材料中具有重要作用。分子键是借助瞬时的、微弱的电偶极矩的感应作用将原子或分子结合在一起的键合,如图1-4所示。分子键中的分子力包括静电力、诱导力和色散力。

由于分子键很弱,故由其结合成的晶体具有低熔点、低沸点、低硬度、易压缩等特性。石墨的各原子层之间为分子键结合,从而易于分层剥离,强度、塑性和韧性极低,接近于零,是良好的润滑剂。塑料、橡胶等高分子材料中的链与链间的结合为范德华力,故它们的硬度比金属低,耐热性差,不具有导电性。

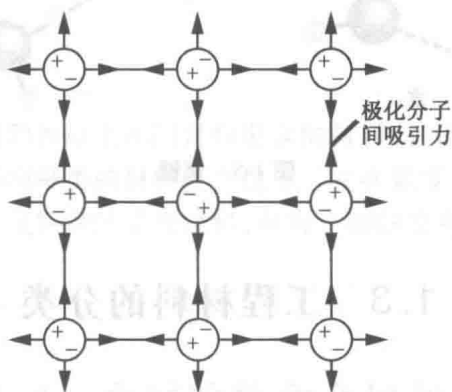


图1-4 分子键

1.2.5 氢键

氢键是一种特殊的键,既存在于分子内又存在于分子间。其通常只在液态状态下存在,破坏氢键只改变聚集状态而不使分子本身发生变化。氢键只存在于少数分子之间,大小又与其他分子间作用力相近,只用虚线表示,表示它和化学键不是一个级别,因此它也可以看作分子间作用力。

如图1-5所示,氢键就是键合于一个分子或分子碎片 $X-H$ 上的氢原子与另外一个原子或原子团之间形成的吸引力,有分子间氢键和分子内氢键之分,可表示为 $X-H \cdots Y-Z$, 其中“ \cdots ”是氢键。与氢原子共价结合的原子 $X-H$ 是氢键供体,另一个电负性原子 Y 是氢键受体, Y 可以是分子、离子以及分子片段,当 X, Y 相同原子时形成对称氢键。氢键的本质是一种多体相互作用,多体指的是形成氢键($X-H \cdots Y$)的主要原子: X (原子 O, N 或者 F , 或者是原子团,如苯环上的碳原子),中间的 H 原子, Y (原子 O, N 或者 F , 或者是原子团,如苯环上的碳原子)。氢键比化学键弱得多,但比范德华力却稍强,氢键的强弱与 X, Y 的电负性大小

有关,它们的电负性越大,则氢键越强,Y 的半径越小,越能接近 X—H, 氢键也越强。氢键具有方向性和饱和性。

最典型的氢键例子是水,一个水分子中氢质子吸引相邻分子中氧的孤对电子,氢键使水成为所有低分子量物质中沸点最高的物质。以氢键为结合力的固体称为氢键晶体。冰就是氢键结合成的氢键晶体。另外,水合物、氨合物、无机酸和某些有机化合物也都存在氢键。

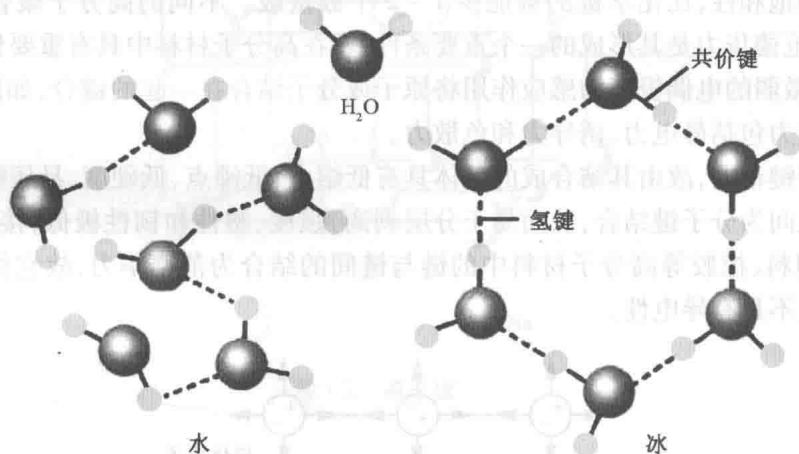


图 1-5 氢键

1.3 工程材料的分类

在实践中,人们按材料功能把工程材料分成结构材料和功能材料。结构材料主要利用其强度、韧性、力学及热力学等性质。功能材料则主要利用其声、光、电、磁、热等性能。另外,工程材料还有其他不同的分类方法,按照结晶状态可以分为单晶质材料、多晶质材料、非晶态材料和准晶态材料;按物理性质可分为超导材料、导电材料、半导体材料、绝缘材料和磁性材料等;按化学成分,则可分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料等。其中最后一种分类方法应用较为广泛。

1.3.1 金属材料

金属材料是最重要的工程材料,以金属键结合为主,具有良好的导电性、导热性、延展性和金属光泽,包括金属和以金属为基的合金。工业上把金属及其合金分为黑色金属材料和有色金属材料。铁和以铁为基的合金为黑色金属,生铁、铸铁和钢都属于此类,黑色金属材料以外的所有金属及其合金为有色金属材料,如铝及铝合金、铜及铜合金以及镍合金、钛合金。

1.3.2 无机非金属材料

无机非金属材料是以共价键和离子键结合为主的材料,一般具有熔点高、硬度高、耐腐蚀和脆性大等特性。它包括耐火材料、耐火隔热材料、耐蚀(酸)非金属材料 and 陶瓷材料等。玻璃制品及船上使用的隔热棉皆为无机非金属材料。

1.3.3 高分子材料

高分子材料为有机合成材料,也称聚合物。它具有较高的强度、良好的塑性、较强的耐腐蚀性能、很好的绝缘性和重量轻等优良性能,在工程上是发展速度最快的一类新型结构材料。高分子材料种类很多,工程上通常根据机械性能和使用状态将其分为三大类:塑料、橡胶、合成纤维。安全帽、PVC管以及单体浇筑尼龙材料均为高分子材料。

1.3.4 复合材料

复合材料就是用两种或两种以上不同材料组合的材料,其性能是其他单质材料所不具备的。复合材料可以由各种不同种类的材料复合组成。它在强度、刚度和耐蚀性方面比单纯的金属、陶瓷和聚合物都优越,是特殊的工程材料,具有广阔的发展前景。有机玻璃、玻璃钢、塑料钢均为复合材料。

1.4 金属冶炼和金属加工

金属冶炼是一种提炼技术,是指用焙烧、熔炼、电解以及使用化学药剂等方法把矿石中的金属提取出来,减少金属中所含的杂质或增加金属中某种成分,炼成所需要的金属。

1.4.1 生铁的冶炼

将金属铁从含铁矿物(主要为铁的氧化物)中提炼出来的工艺过程,称为炼铁。炼铁是金属冶炼的第一步。炼铁的主要设备是炼铁炉,现代化炼铁炉高达30~40 m,故又称为高炉。

炼铁的原料主要有铁矿石、燃料和熔剂等。

铁矿石中主要含有铁的化合物,如 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 FeCO_3 等,并含有废石,如 SiO_2 、 MnO 等。高炉用的燃料是焦炭。焦炭具有发热量高,强度足够,且灰分、硫和磷含量少等特性。

熔剂是造渣材料,它能和矿石中的废石以及焦炭中的灰分组成低熔点的炉渣,以便与生铁分离,一般废石多为酸性,所以常用碱性熔剂,如石灰石。

炼铁的原料从炉顶装入高炉中,层层相间,热风则从炉子下部的风口鼓入,使焦炭燃烧,产生大量高温炉气,并不断上升。原料接触高温炉气后,便发生一系列复杂的物理、化学反应。

高炉炼铁示意图如图 1-6 所示。

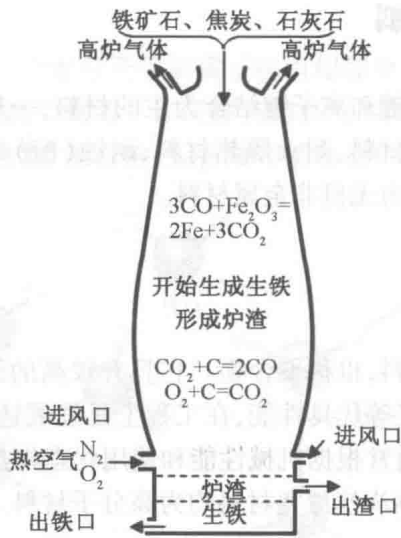


图 1-6 高炉炼铁示意图

(1) 高炉炼铁的物理、化学过程

① 焦炭的燃烧

焦炭被 1000 ~ 1150 °C 的热风吹燃后,产生 1800 °C 左右的高温($C + O_2 \rightarrow CO_2 + Q$),由于底部焦炭较厚, CO_2 在上升的过程中又被还原,产生 2000 °C 以上的炽热还原性煤气($C + CO_2 \rightarrow 2CO - Q$)。

② 铁的还原

铁矿石在高温还原气体中,逐渐地由含氧较多的氧化物转变为含氧较少的氧化物,最后变成海绵状夹渣的纯铁。

③ 铁的增碳

海绵铁在 900 ~ 1200 °C 的高温下从 CO 和焦炭中吸收碳,形成铁碳合金,含碳量达到 3% 以上即为生铁,生铁在 1200 °C 即可熔化成铁水,滴入炉缸。

④ 造渣

矿石中的废石和焦炭中的灰分,其主要成分是 SiO_2 和 Al_2O_3 ,熔点都很高。石灰石的主要成分是 CaO ,其与矿石在 1100 ~ 1200 °C 时可发生反应,生成低熔点的硅酸盐炉渣浮在铁水表面,以便从出渣口定时排出。

⑤ 去硫

焦炭和矿石中都含有硫,并以 FeS 的形式存在,炼铁时必须控制硫的含量,否则其在作为炼钢材料时,将会使钢的质量降低。通常采用加入石灰石($CaCO_3$)的方法来进行脱硫,石灰石受热分解生成 CaO , CaO 可以与铁水中的硫发生反应($FeS + CaO \rightarrow CaS + FeO$),生成 CaS 进入炉渣而被除去。

⑥ 其他元素的还原

铁矿石中还含有 SiO_2 、 MnO 和硫酸盐等杂质,在冶炼过程中也被还原成 Si 、 Mn 、 P 等元素,并部分进入铁水之中。

因此,从高炉中冶炼出来的并不是纯铁,而是以 Fe 和 C 为主并含有 Si 、 Mn 、 S 、 P 等杂质元

素的多元合金,称为生铁。

(2) 高炉产品

① 生铁

根据生铁中含硅量多少将其分为两类:一类是含 Si 量大于 1.5% 的铸造生铁,它是生产铸铁件的主要原料,其中碳主要以石墨形式存在,铸造生铁质地软,断面呈灰色;另一类是含 Si 量小于 1.5% 的炼钢生铁,它是炼钢的主要原料,其中碳以 Fe_3C 的形式存在,炼钢生铁性硬而脆,断面呈银白色。目前,随着炉外精炼技术的提高,炼钢生铁直接在炉包内进行转移,减少了生铁凝固再熔炼的过程。

② 铁合金

高炉还可冶炼部分铁合金,如含 Si 量或含 Mn 量较高的硅铁和锰铁等。常用硅铁和锰铁作为炼钢时的脱氧剂或合金元素添加剂。

1.4.2 钢的冶炼

高炉冶炼的生铁因在高温还原过程中从焦炭中吸收过多的碳和较多被还原的 Si、Mn、S、P 等杂质元素,其强度和韧性很低,脆性很大,导致生铁不能直接使用,需要把这些杂质氧化成气体或炉渣,以将其减少或者去除,便可获得碳钢,此过程就称为炼钢,实质上是生铁的氧化反应。

(1) 钢的生产过程

现代化炼钢过程的任务主要是“四脱二去二调整”。四脱:脱碳、脱氧、脱磷、脱硫。二去:去夹杂气体、去非金属夹杂物。二调整:调整钢液温度和钢液成分。炼钢的基本过程是氧化。炼钢温度为 $1500 \sim 1700\text{ }^\circ\text{C}$,炼钢时主要操作是向铁水中送入氧气,使其发生各种氧化反应。

一般在铁水转运过程中即进行脱 S、P、Si 操作,就是往鱼雷罐车或其他盛铁水容器中加入脱硫剂(电石、石灰、镁)、脱硅剂(烧结矿粉、铁矿石粉等)、脱磷剂(苏打灰、烧结矿粉)。加入方法大体分为机械搅拌法和喷吹法。机械搅拌法容易理解,喷吹法就是用喷枪以惰性气体为载体,将脱硫、硅、磷剂吹入铁水底部,搅动铁水,使其与脱硫、硅、磷剂充分混合,达到脱除杂质的目的,之后将得到的铁水转移到炉外进行精炼。在精炼过程中,控制钢水成分和温度的均匀化;精确控制钢水成分和温度;脱氧、脱硫、脱磷、脱碳;去除钢中气体(氢、氮);去除夹杂物及夹杂物形态控制等,最后得到合格的钢水。合格的钢水,绝大多数要浇铸成钢锭,然后钢锭经压力加工成为钢材。

目前,钢水的浇铸方法主要有两种:模铸法和连续铸锭法。模铸法是把钢水直接从钢锭模上入口或下入口浇入。一般大型铸件或大型锻件毛坯采用此种方法。连续铸锭法是用钢水直接浇铸钢坯的方法,将钢水浇入一个无底的水冷铜套中,开始时,用所谓的“引锭头”将铜套底部封住,钢水在结晶器内受到激冷形成坯壳,而内部仍为液态,将形成坯壳的钢坯从结晶器内拉出来,喷水促使钢坯内部凝固形成铸锭,然后按一定尺寸切断。连续铸锭法与模铸法相比,工艺简单,效率高,成材率高,有利于炼钢生产自动化,因而在国内外获得广泛应用。

当炼钢生铁中硫、磷含量较少时,采用酸性炼钢法炼钢,即炼钢炉使用以 SiO_2 为主的耐火炉衬,炼钢过程中产生酸性炉渣。通常由于炼钢用的铁原料中硫、磷含量高,所以炼钢时,必须采用碱性炼钢法,即炼钢炉使用以 MgO 为主的耐火炉衬,产生碱性炉渣,使钢中的硫和磷转移