

工程材料

郑明新 主编

中央广播电视大学出版社

工 程 材 料

郑明新 主编

中央广播电视大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程材料/郑明新主编. - 北京:中央广播电视大学出版社,2001.2

ISBN 978-7-304-01972-3

I.工… II.郑… III.工程材料-高等教育-教学参考资料 IV.TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 09549 号

版权所有,翻印必究。

工 程 材 料

郑明新 主编

出版·发行:中央广播电视大学出版社

电话:发行部:010-58840200 总编室:010-68182524

网址:<http://www.crtvup.com.cn>

地址:北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编:100039

经销:新华书店北京发行所

印刷:北京智慧源印刷有限公司

印数:4001~6000

版本:2000 年 12 月第 1 版

2008 年 1 月第 3 次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:23.75 字数:544 千字

书号:ISBN 978-7-304-01972-3

定价:31.00 元

(如有缺页或倒装,本社负责退换)

前 言

本书是根据中央广播电视大学 1999 年 7 月主持制定的工程材料课程教学大纲编写的,适用于广播电视大学、职工大学、业余大学机械工程类各专业,也可作为全日制高等院校机械制造专业的教学参考书。

机械制造类各专业开设工程材料课程的目的是使学生学习和掌握选择材料和使用材料的知识。为此,本书根据教学大纲的要求,打破了传统的教学体系,将材料科学的基本理论与基础知识,以及材料工艺与性能间的关系,独立成章,精减了较繁琐的理论阐释,突出了加工的地位,突出了材料成分、结构、组织、工艺等要素与使用性能之间关系的基本规律。此外,本书在选材、用材方面的内容也有进一步的加强,增加了典型设备用材的内容,有助于学生理论联系实际,学以致用。

本书统一使用国家最新颁布的有关工程材料的标准,并反映了一些新材料和表面新技术的信息。

本书由郑明新教授担任主编。参加编写的人员有:郑明新(绪论、第一章、第三章第三节、第四章、第五章、第六章),朱张校(第二章、第七章),李鸿珠(第三章第一、二节、第八章、工程材料实验指导、课堂讨论指导、复习自测题、复习自测题参考答案及工程材料实验报告)。

本书由吕广庶教授和仝健民教授审定。吕广庶教授担任主审。两位教授在课程教学大纲的制定、教材体系的调整 and 内容的取舍上提出了极为宝贵的意见。丁莲珍老师为本书提供了部分照片。他们对提高本书的编写质量给予了很大的帮助,在此谨致以衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中误漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2000 年 9 月于北京

目 录

绪 论

第一节	材料发展概要	1
第二节	固体中的结合键	3
第三节	工程材料的分类	7

第一章 工程材料的组织结构与性能

第一节	材料的机械性能	9
第二节	纯金属的结构与特性	18
第三节	合金的结构、组织与特性	29
第四节	高聚物的结构与特性	35
第五节	陶瓷的组织、结构与特性	51
小 结		61
习 题		62

第二章 金属的加工和改性技术

第一节	金属的结晶与铸造	64
第二节	合金的结晶	69
第三节	金属的塑性加工	87
第四节	钢的热处理	95
第五节	钢的合金化	114
第六节	金属的表面技术	119
小 结		124
习 题		125

第三章 金属材料

第一节	钢铁	127
第二节	有色金属及其合金	169
第三节	新型金属材料	184
小 结		204

习 题	209
-----	-----

第四章 高分子材料

第一节 高分子材料概述	211
第二节 塑料	213
第三节 橡胶	223
第四节 纤维	228
第五节 胶粘剂	230
小 结	235
习 题	235

第五章 陶瓷材料

第一节 陶瓷材料概述	237
第二节 结构陶瓷材料	239
第三节 功能陶瓷材料	245
小 结	254
习 题	255

第六章 复合材料

第一节 材料的复合机制	256
第二节 复合材料性能的特点	260
第三节 常用复合材料	262
小 结	267
习 题	267

第七章 机器零件的失效与材料的选择

第一节 机器零件失效的形式	269
第二节 选材的基本原则	272
第三节 典型工件的选材	277
小 结	293
习 题	294

第八章 工程材料的应用

第一节 机床用材	295
第二节 汽车用材	299
第三节 热能设备用材	305

第四节 仪器仪表用材	305
第五节 化工设备用材	306
第六节 其它工程结构用材	310
小 结	312

工程材料实验指导

实验一 铁碳合金平衡组织分析	313
附录一 显微镜的基本原理、构造和使用	316
附录二 金相样品的制备	320
实验二 钢的热处理	322
附录三 洛氏硬度计的使用	326
实验三 碳钢热处理后的显微组织的观察	329
实验四 常用金属材料的显微组织的观察	333

工程材料课堂讨论指导

课堂讨论一 铁碳相图	339
课堂讨论二 钢的热处理	340
课堂讨论三 机器零件的选材和使用	341

工程材料复习自测题

第 1 套自测题	344
第 2 套自测题	346
第 3 套自测题	348
第 4 套自测题	352

工程材料复习自测题参考答案

第 1 套自测题答案	355
第 2 套自测题答案	356
第 3 套自测题答案	358
第 4 套自测题答案	359

附:工程材料实验报告	361
------------	-----

参考文献	372
------	-----

绪 论

中华民族在人类文明的历史进程中,对石器时代、青铜器时代和铁器时代的开创和发展都做出了最伟大的贡献,是鼓舞我们不断进步与创造的永恒力量。本章专门介绍决定材料本性的离子键、共价键、金属键和范特瓦尔斯力的概念与特性,并根据结合键的特点将工程材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料等 4 大类。

第一节 材料发展概要

材料是人类用来制作各种产品的物质,是用于人类生存的,为人类生活和生产的物质基础。人类社会的发展史表明,生产中使用的材料的性质直接反映人类社会文明的水平。所以,历史学家常常根据制造生产工具的材料,将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代。而今,人类正跨进人工合成材料的新时代。

在人类的发展史上,最先使用的工具是石头。由古猿到原始人的漫长进化过程中,石器一直是人类使用的主要工具。当时,制造石器的原料大都为燧石和石英石。因为这类石头坚硬,能纵裂成薄片,崩解为锋刃,容易加工,且到处都有,资源丰富。约 50 万年前人类学会了用火。在原始社会末期,我们的祖先开始用火烧制陶器。新石器时代的仰韶文化和龙山文化时期,制陶技术已经发展到能在氧化性窑中 $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下烧制红陶;在还原性炉气中 $1\ 050\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下烧制薄胎黑陶与白陶。3 000 多年前的殷、周时期发明了釉陶,炉窑温度提高到了 $1\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。到东汉出现了瓷器,并于 9 世纪传至非洲东部和阿拉伯世界,13 世纪传到日本,15 世纪传至欧洲。瓷器成为中国文化的象征,对世界文明产生了极大的影响。

制陶技术的发展为炼铜准备了必要的条件。我国青铜的冶炼在夏(公元前 2140 年始)以前就开始了,虽然晚于古埃及和西亚,但发展较快,到殷、西周时期已发展到很高的水平,普遍用于制造各种工具、食器、兵器。从河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎重达 875 kg,外形尺寸为 $133\text{ cm} \times 78\text{ cm} \times 110\text{ cm}$,是迄今世界上最古老的大型青铜器。从湖北江陵楚墓中发掘出的越王勾践的两把宝剑,长 55.6 cm,至今仍锋利异常,是我国古青铜器的杰作。在湖北大冶发现的春秋晚期的铜矿井遗址深达 50 m,炼铜炉渣有 40 多万吨,实属罕见。从湖北隋县出土的战

国青铜编钟是我国古代文化艺术高度发达的见证。春秋战国时期《周礼·考工记》中关于青铜“六齐”的科学论述,反映我们的祖先已经认识到了青铜的性能与成分之间的关系。他们在青铜材料的冶炼和应用方面在当时达到了世界的最高水平,创造了灿烂的青铜文化。

由青铜器过渡到铁器是生产工具的重大发展。我国从春秋战国时期(公元前 770 ~ 221 年)开始大量使用铁器。从兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇铸农具用的铁模,说明冶铸技术已由泥砂造型水平进入铁模铸造的高级阶段。到了西汉时期,炼铁技术又有了很大的提高,采用煤做炼铁的燃料,这要比欧洲早 1 700 多年。在河南巩县汉代冶铁遗址中,发掘出 20 多座冶铁炉和锻炉。炉型庞大,结构复杂,并有鼓风装置和铸造坑。可见当年生产规模之壮观。我国古代创造了 3 种炼钢方法。第一种是从矿石中直接炼出自然钢。用这种钢做的剑在东方各国享有盛誉,东汉时传入了欧洲;第二种是西汉时期的经过“百次”冶炼锻打的百炼钢;第三种是南北朝时期生产的灌钢。先炼铁后炼钢的两步炼钢技术我国要比其它国家早 1 600 多年。从西汉到明朝的一千五、六百年间,我国钢铁生产技术远远超过世界各国。相应地,其它金属材料的工艺技术也都有高度的发展,留下了大量的珍贵文物和文献。

在材料领域中还应该提到的是丝绸。丝绸是一种天然高分子材料,它在我国有着悠久的历史,于 11 世纪传到波斯、阿拉伯、埃及,并于 1470 年传到意大利的威尼斯,进入欧洲。

历史充分说明,我们勤劳智慧的祖先,在材料的创造和使用上有过辉煌的成就,为人类文明做出了巨大的贡献。

铁器在公元前 1 000 多年以前在亚洲大地上出现以后,逐渐在文明古国巴比伦、埃及和希腊也得到了广泛的应用。经过许多世纪的发展,西欧和俄国后来居上,创造了不少冶炼技术,使以钢铁为代表的材料的生产和应用跨进一个新的阶段。但是,由于材料的问题太复杂,直到 17 世纪的科学革命和 18、19 世纪的工业革命时期,人们对材料的认识仍是非理性的,还主要停留在工匠、艺人的经验技术的水平上。

18 世纪以后,由于工业迅速发展,对材料特别是钢铁的需求急剧增长。因此,为适应这一需要,在化学、物理、材料力学等学科的基础上,产生了一门新的科学——金属学。它明确地提出了金属的外在性能决定于内部结构的概念,并以研究它们之间的关系为自己的主要任务。近 100 多年来,由于显微镜、X 射线技术、电子显微镜等新仪器和新技术的相继出现和发展,金属学得到了长足的进步。

进入 20 世纪以来,现代科学技术和生产飞跃发展。材料、能源与信息作为现代技术的三大支柱,发展格外迅猛。在材料中非金属材料发展神速,尤以人工合成高分子材料的发展最快。从 60 年代到 70 年代,有机合成材料每年以 14% 的速度增长,而金属材料的年增长率仅为 4%。到 70 年代中期,全世界的有机合成材料和钢的体积产量已经相等;除了用作为结构材料代替钢铁外,目前正在研究和开发具有良好导电性能和耐高温的有机合成材料。陶瓷材料的发展同样十分引人注目,它除了具有许多特殊性能而为重要的功能材料以外(例如可作光导纤维、激光晶体等),其脆性和抗热振性正在逐步获得改善,是最有前途的高温结构材料。机器零件和工程结构已不再只使用金属材料制造了。近 20 多年来,金属与非金属相互渗透,并且相互结合,组成了一个完整的材料体系。材料科学也就在金属学、陶瓷学和高分子科学的基础上

很快地发展起来了。其任务也是揭示材料的成分、结构和性能之间的关系,但研究的对象却是一切固体材料。

材料的性能包括使用性能和工艺性能两方面。使用性能是材料在使用条件下表现出的性能,如力学(或机械)性能、物理性能和化学性能等;工艺性能则指材料在加工过程中反映出的性能,如切削加工性能、铸造性能、塑性加工性能、焊接性能、热处理性能等。工程材料(学)是材料科学的实用部分,主要阐述结构材料的成分、组织、性能以及应用方面的一般规律。结构材料是指工程上对强度、韧性、塑性等机械性能有严格要求的材料,它们主要用于制作工程结构和零件。那些要求具有电、光、声、磁、热等功能或效应的材料为功能材料,一般少在工程材料(学)中讨论。工程材料(学)的具体任务是为工程结构和机器零件的设计和使用提供正确选材和合理用材的基本原则、方法和知识,同时也为某些机械设计、制造和工艺专业及学科提供必要的理论基础。

第二节 固体中的结合键

在固体状态下,当原子(离子或分子)聚集为晶体时,原子(离子或分子)之间产生较强的相互作用力,即晶体的结合力或结合键(简称键)。不同类型的原子之间产生不同性质的结合键。由电子运动使原子产生聚集的结合力为化学键。它是固体中的主要结合键,其键强与原子的结构有关。化学键有离子键、共价键和金属键等三种。此外,还有分子键,它属于物理键,为聚集过程中不发生电子运动的结合力。与各类键相应地,固体可分为离子晶体、共价晶体、金属晶体和分子晶体等。

一、离子键

当周期表中相隔较远的正电性元素原子和负电性元素原子接触时,前者失去最外层价电子变成带正电荷的正离子,后者获得电子变成带负电荷的满壳层负离子。正离子和负离子由静电引力相互吸引;同时当它们十分接近时发生排斥,引力和斥力相等即形成稳定的离子键,如图0-1所示。离子键要求正负离子相间排列,而且要使异性离子之间的引力最大,同性离子之间的斥力最小。

氯化钠是典型的离子晶体。钠原子有一个价电子处于稳定的8个电子所组成的壳层之外;氯原子有7个价电子,需要1个电子以形成8个电子的稳定壳层。钠原子失去一个电子变为带正电荷的 Na^+ ,氯原子获得一个电子变为带负电荷的 Cl^- 。这两种离子依靠静电引力相互吸引,直至引力被斥力所平衡而形成离子化合物。

一个 Na^+ 可以和几个 Cl^- 结合;一个 Cl^- 也可以和几个 Na^+ 结合。周围的 Cl^- 或 Na^+ 的数目和排列则取决于所形成晶体的结构,不受电价数的限制,只受空间因素的影响,所以离子键没有饱和性。另外,离子的电荷分布呈球形对称,从各个方向都可以吸引电荷相反的离子,因而离子键没有方向性。

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。离子键中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。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。

二、共价键

处于周期表中间位置的三、四、五价元素,距表中惰性元素的距离相当,获得和丢失电子的几率相近,原子既可能获得电子变为负离子,也可能丢失电子变为正离子。当这些元素原子之间或与邻近元素的原子形成分子或晶体时,以共用价电子形成稳定的电子满壳层的方式实现结合。被共用的价电子同时属于两相邻的原子,使它们的最外层均为满壳层。价电子主要在这两个相邻原子核之间运动,形成一负电荷较集中的地区,因而对带正电荷的原子核产生吸引力,将它们结合起来,如图 0-2 所示。这种由共用价电子对产生的结合键叫共价键。共价晶体中的粒子为中性原子,所以也叫原子晶体。

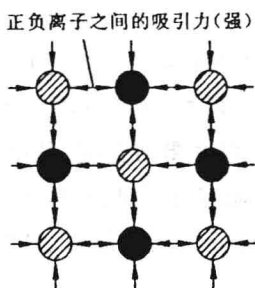


图 0-1 离子键示意图

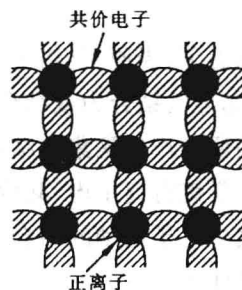


图 0-2 共价键示意图

最具有代表性的共价晶体为金刚石。金刚石由碳原子组成,每个碳原子贡献出 4 个价电子与周围的 4 个碳原子共有,形成 4 个共价键,构成正四面体:一个碳原子在中心,与它共价的另外 4 个碳原子在 4 个顶角上。硅、锗、锡等元素也可构成共价晶体。属于共价晶体的还有 SiC , Si_3N_4 , BN 等化合物。有些元素,如碲、硒、砷、锑、铋等的原子之间,存在有近似的共价键结合。 H_2 , N_2 , O_2 , Cl_2 等单质分子和 HCl , H_2O , NH_3 等化合物也是靠共价键来结合的。

一般,两个相邻原子只能共用一对电子。故一个原子的共价键数,即与它共价结合的原子数,最多只能等于 $8 - N$, N 表示这个原子最外层的电子数。所以共价键具有明显的饱和性。另外,在共价晶体中,原子以一定的角度相邻接,各键之间有确定的方位,因此共价键有强烈的方向性。

共价键的结合力很大,所以共价晶体强度高,硬度高,脆性大,熔点高,沸点高,挥发性低,结构也比较稳定。由于相邻原子所共有的电子不能自由运动,故共价晶体的导电能力较差。

三、金属键

周期表中I,II,III族元素的原子在满壳层外有一个或几个价电子。满壳层在带正电荷的原子核和价电子之间起屏蔽作用,原子核对外面轨道上的价电子的吸引力不大,所以原子很容易丢失其价电子而成为正离子。当大量这样的原子相互接近并聚集为固体时,其中大部或全部原子会丢失价电子。同离子键或共价键不一样,这里被丢失的价电子不为某个或某两个原子所专有或共有,而是为全体原子所公有。这些公有化的电子叫做自由电子,它们在正离子之间自由运动,形成所谓电子气。正离子则沉浸在电子气中。在理想情况下,当价电子从原子上脱落形成对称的正离子时,其电子云的分布呈球对称,因此正离子在三维空间或电子气中呈高度对称的规则分布。正离子和电子气之间产生强烈的静电吸引力,使全部离子结合起来。这种结合力就叫做金属键,如图0-3所示。除锆等少数例外,纯金属通常皆为金属晶体,是金属键结合。

在金属晶体中,价电子弥漫在整个体积内,所有的金属离子皆处于相同的环境之中,全部离子(或原子)均可被看成是具有一定体积的圆球,所以金属键无所谓饱和性和方向性。

四、分子键

原子状态形成稳定电子壳层的惰性气体元素,在低温下可结合为固体;VII B族元素的双原子分子也能结合成晶体。在它们结合的过程中,没有电子的得失、共有或公有化,价电子的分布几乎不变,原子或分子之间的结合力是很弱的范特瓦尔斯力,即分子键。

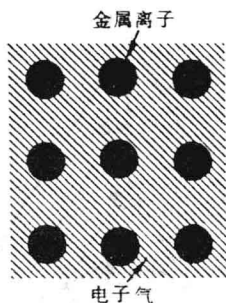


图0-3 金属键示意图

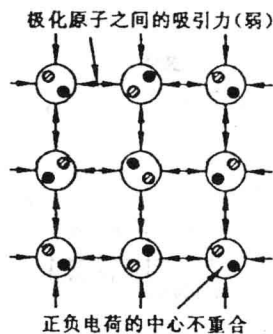


图0-4 分子键示意图

范特瓦尔斯力实际上就是分子偶极之间的作用力,如图0-4所示。通常,非极性分子是没有偶极的,即在平均情况下其电子云所产生的负电荷的中心与原子核所具有的正电荷的中心相重合。但实际上在每一瞬时,分子(或原子)上电子云分布的密度是不均匀的,正、负电荷中心并不重合,而使分子一端带负电,另一端带正电,形成瞬时偶极。偶极与偶极之间能相互作用。所以当非极性分子彼此靠近时,产生瞬时偶极之间的吸引力。这种分子间力叫做色散力,由此力构成范特瓦尔斯力。当非极性分子和极性分子接近时,除了产生色散力外,还由于

非极性分子受极性分子的感应形成诱导偶极,而诱导偶极与极性分子的永久偶极之间产生吸引力(或叫诱导力),所以范特瓦尔斯力由色散力和诱导力两者构成。在极性分子相互靠近的情况下,除了有色散力和诱导力外,又有永久偶极在空间按异极相邻的原则进行分布所产生的取向力,这时范特瓦尔斯力由色散力、诱导力和取向力三者构成。一般,在分子晶体中都是色散力起主要作用。

依靠范特瓦尔斯力结合起来的有甲烷分子晶体。大部分有机化合物的晶体和 CO_2 , SO_2 , HCl , H_2 , N_2 , O_2 等在低温下形成的晶体都是分子晶体。分子键没有方向性和饱和性。其晶体结构主要取决于几何因素,并趋向于紧密排列。

由于范特瓦尔斯力很弱,所以分子晶体的结合力很小,熔点很低,硬度也很低。这种引力也存在于由化学键所形成的晶体中,但常可被忽略不计。

五、氢键

在含氢的物质中,特别是含氢的聚合物中,经常可以见到由于氢离子(质子)的尺寸小所引起的键。一般,一个中性氢原子只和一个另外的原子形成共价键。但是,在一定的条件下,一个氢原子可以同时和电子亲合能大的、半径较小的两个原子(F、O、N 等)相结合,这种结合力即为氢键。

氢键的产生,主要是由于氢原子与某一原子形成共价键时,共有电子向这个原子强烈偏移,使氢原子几乎变成一半径很小的带正电荷的核,因而这个氢原子还可以与另一个原子相吸引,形成附加的键。所以氢键是一种较强的、有方向性的范特瓦尔斯键。它属于特殊类型的物理键,比一般范特瓦尔斯键强得多,但比离子键、共价键等小得多。氢键在许多情况下起很重要的作用。

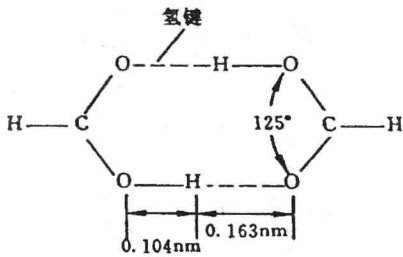


图 0-5 甲酸二聚分子的结构(含氢键)

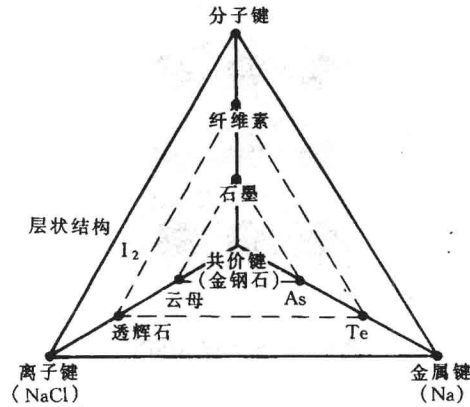


图 0-6 键的四面体

图 0-5 表示甲酸二聚分子 $(\text{HCOOH})_2$ 的结构。H 原子同时与两个 O 原子结合,但与一个 O 原子结合较强,用 $\text{O}-\text{H}$ 表示,键长为 0.104 nm ;与另一个 O 原子结合较弱,用 $\text{H}\cdots\text{O}$ 表示,键长为 0.163 nm 。当一个氢原子同时与 A 和 B 原子相结合,且与 A 结合较强,与 B 结合较弱时,其氢键可用符号 $\text{A}-\text{H}\cdots\text{B}$ 表示。有时氢键专指 $\text{H}\cdots\text{B}$ 的结合。一般认为在氢键 $\text{A}-\text{H}\cdots\text{B}$ 中, $\text{A}-\text{H}$ 基本上是共价键,而 $\text{H}\cdots\text{B}$ 则是一种较强的范特瓦尔斯力。

由氢键结合起来的晶体为氢键晶体。冰的晶体、磷酸二氢钾晶体等就是靠氢键结合起来的。

从氢键晶体的例子可以看出,大多数晶体并不单由前述四种基本类型键(离子键、共价键、金属键和分子键)之一来结合,而往往是几种键的混合结合。所以可以以四种典型键为顶点建立一四面体(图 0-6),各种固体材料的结合键皆位于四面体的棱上、面中或体内。

第三节 工程材料的分类

工程材料有各种不同的分类方法。比较科学的方法是主要根据材料的本性或其结合键的性质进行分类。一般都将工程材料分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料等 4 大类。

一、金属材料

金属材料是最重要的工程材料,包括金属和以金属为基的合金。最简单的金属材料是纯金属。周期表中的金属元素分简单金属和过渡族金属两类。凡是内电子壳层完全填满或完全空着的元素,均属于简单金属;内电子壳层未完全填满的元素属于过渡族金属。简单金属的结合键完全为金属键;过渡族金属的结合键为金属键和共价键的混合键,但以金属键为主。所以以金属为主体的工程金属材料,原子间的结合键基本上为金属键,皆为金属晶体材料。

工业上把金属和其合金分为两大部分:

(1) 黑色金属——铁和以铁为基的合金(钢、铸铁和铁合金);

(2) 有色金属——黑色金属以外的所有金属及其合金。

应用最广的是黑色金属。以铁为基的合金材料占整个结构材料和工具材料的 90% 以上。黑色金属的工程性能比较优越,价格也比较便宜,是最重要的工程金属材料。

按照性能的特点,有色金属可分为轻金属、易熔金属、难熔金属、贵金属、铀金属、稀土金属和碱土金属。它们是重要的特殊用途材料。

二、陶瓷材料

陶瓷是人类应用最早的材料。它坚硬、稳定,可以制造工具、用具;在一些特殊的情况下也可用作结构材料。

陶瓷是一种或多种金属元素同一种非金属元素(通常为氧)的化合物,其中尺寸较大的氧原子为陶瓷的基质,较小的金属(或半金属如硅等)原子处于氧原子之间的空隙里。氧原子同金属原子化合时形成很强的离子键,同时也存在有一定成分的共价键,但离子键是主要的。例如 MgO 晶体中,离子键占 84%,共价键占 16%。也有一些特殊陶瓷以共价键为主。陶瓷的硬度很高,但脆性很大。

陶瓷材料属于无机非金属材料,是不含碳氢氧结合的化合物,主要为金属氧化物和金属非

氧化合物。由于大部分无机非金属材料含有硅和其它元素的化合物,所以又叫做硅酸盐材料。它一般包括无机玻璃(硅酸盐玻璃)、玻璃陶瓷(或称微晶玻璃)和陶瓷等三类。作为结构和工具材料,工程上应用最广的是陶瓷。

按照成分和用途,工业陶瓷材料可分为:

- (1)普通陶瓷(或传统陶瓷)——主要为硅、铝氧化物的硅酸盐材料;
- (2)特种陶瓷(或新型陶瓷)——主要为高溶点的氧化物、碳化物、氮化物、硅化物等的烧结材料;
- (3)金属陶瓷——主要指用陶瓷生产方法制取的金属与碳化物或其它化合物的粉末制品。

三、高分子材料

高分子材料为有机合成材料,亦称聚合物。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,以及重量轻等优良性能,在工程上是发展最快的一类新型结构材料。

高分子材料由大量分子量特别高的大分子化合物组成,每个大分子皆包含有大量结构相同、相互连接的链节。有机物质主要以碳元素(通常还有氢)为其结构组成,在大多数情况下它构成大分子的主链。大分子内的原子之间由很强的共价键结合,而大分子与大分子之间的结合力为较弱的范特瓦尔斯力。由于大分子链很长,大分子之间的接触面比较大,特别当分子链交缠时,大分子之间的结合力是可以很大的,所以高分子材料的强度较高。在分子中存在有氢时,氢键会加强分子间的相互作用力。

和无机材料一样,高分子材料按其分子链排列有序与否,可分为结晶聚合物和无定形聚合物两类。结晶聚合物的强度较高,结晶度决定于分子链排列的有序程度。

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:

- (1)塑料——主要指强度、韧性和耐磨性较好的,可制造某些机器零件或构件的工程塑料,分热塑性塑料和热固性塑料两种;
- (2)橡胶——通常指经硫化处理的,弹性特别优良的聚合物,有通用橡胶和特种橡胶两种;
- (3)合成纤维——指由单体聚合而成的、强度很高的聚合物,通过机械处理所获得的纤维材料。

四、复合材料

复合材料就是两种或两种以上不同材料的组合材料,其性能是它的组成材料所不具备的。复合材料可以由各种不同种类的材料复合组成,所以它的结合键非常复杂。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,是一类特殊的工程材料,具有广阔的发展前景,可能成为二十一世纪的“钢”。

下面按以上分类对各类材料进行讨论,重点介绍当前应用最广的金属材料,特别是黑色金属钢铁。因为据估计,目前非金属材料在工业中的应用约为5%~6%,在不久的将来也不会超过7%~8%,所以在相当长的时间内,金属还是主要的工程材料。

第一章

工程材料的组织结构与性能

组织(结构)与性能的关系是材料科学讨论的基本问题,因此本章是本书最基础的一章。按照材料的类型及特点,这里分别阐述:(1)金属与合金的结合键、晶体结构、相结构、合金组织等的基本概念、知识、原理和规律,以及金属材料的基本性能与特点;(2)聚合物结合键的特点,分子链的近程和远程结构,聚集态结构,受温度影响的力学状态的变化,以及高分子材料比较特殊的性能;(3)陶瓷结合键的性质、组成,相的状态与结构、组织,以及陶瓷材料的典型性能。这些内容为各类材料制取和应用的必要理论基础。

第一节 材料的机械性能

工程构件在使用过程中最主要的功能是传递各种力和能。因此,在进行设计、选材和工艺评定时,工程上最关心的是材料受力时的行为,即材料的力学性能,或机械性能。

材料受外力作用时,一般会出现彼此关联的三个过程:弹性变形、塑性变形和断裂。但是,随外加载荷性质的不同(如拉伸、压缩、冲击等),这些过程的发生和发展是不相同的,所以,在测定表征材料受力行为的参量,即机械性能指标时,常以外加载荷的类型和施加载荷的方式进行分类。下面就据此分类讨论。

一、静载时材料的机械性能

静载是指对试样缓慢加载。最常用的静载试验有拉伸、压缩、硬度、弯曲、扭转试验等。利用这些不同类型的试验,可以测得材料各种性质的机械性能指标,如拉伸强度、硬度、弯曲强度,等等。这里只讨论静拉伸强度和硬度试验。

(一)静拉伸试验

静拉伸试验是应用最广的机械性能试验方法之一。在标准试样的两端缓慢地施加拉伸载荷,使试样的工作部分受轴向拉力 P ,并引起试样沿轴向产生伸长 Δl 。随着 P 值的增加, Δl

也相应增大,直到试样断裂为止。由载荷(拉力)与变形量(伸长量)的相应变化,可以绘出所谓拉伸图。图 1-1 就是退火低碳钢的拉伸图。如果把纵坐标除以试样的原始截面积 F_0 ,得到拉应力 σ (单位面积上的拉力);把横坐标除以试样的工作部分长度 l_0 ,得到应变 ϵ (单位长度的伸长量)。根据 σ 和 ϵ ,则可以画出应力-应变图,如图 1-2 所示。这两种图的形状相似,但坐标不同。应力-应变图不受试样尺寸的影响,可以从图上直接读出材料的一些常规机械性能指标。

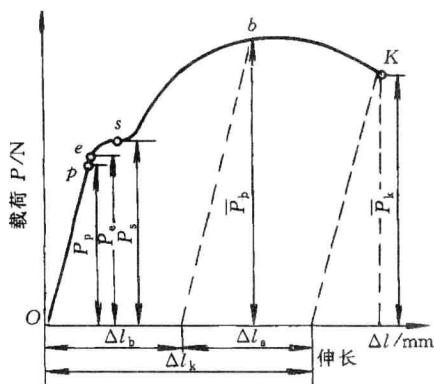


图 1-1 退火低碳钢的拉伸图

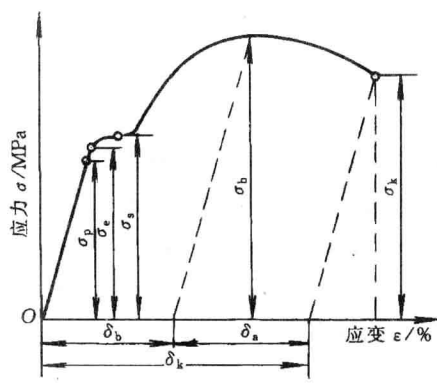


图 1-2 退火低碳钢的应力—应变图

1. 弹性和刚度

在图 1-1 中 e 点以前,若卸去载荷,试样能恢复原状,这种不产生永久变形的能力,称为弹性。对应于 e 的应力为试样不产生永久变形时所能承受的最大应力,称为弹性极限,用 σ_e 表示,单位为 MPa,显然有:

$$\sigma_e = P_e / F_0$$

式中: P_e ——对应于 e 点所加的外力,单位为 N。

F_0 ——试样的原始截面面积,单位为 m^2 。

图中 Op 段是直线,表示应力与应变成正比关系。对应于 p 点的应力为与应变成正比关系的最大应力,称为比例极限,用 σ_p 表示,单位为 MPa,它的值为:

$$\sigma_p = P_p / F_0$$

式中: P_p ——对应于 p 点所加的外力,单位为 N。

比例极限当然应属于弹性范围,由于其值与弹性极限很接近,在实际应用时两者常取同一数值。

图中 Op 段的斜率为该试样材料的弹性模量 E ,显然有:

$$E = \sigma / \epsilon$$

它表示在弹性变形阶段应力与应变间呈恒定关系,可看作是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标。材料的弹性模量愈大,则使其产生一定量弹性变形的应力值也愈大。所以,工程上常把它叫做材料的刚度。刚度表征材料弹性变形抗力的大小。刚度愈大,则材料在一定应力下