

材料学科编审委员会

主任 周 廉

成员 沈宁福 李成功 陈革涛

关绍康 王西科 洪时藏

作者 沈宁福 关绍康 王西科

图书在版编目 (CIP) 数据

开拓未来的新材料：材料科学与工程 魏宁福，关绍康，王西科编著 援— 济南：山东科学技术出版社，2004.10

(20 世纪学科发展丛书)

陽昇苑景翫景園翫景園

I 園 肝... II 園 ① 沈... ② 关... ③ 王... III 園 材料科
学—普及读物 IV 園 日 稗 京 愿

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (974) 第 000000 号

21世纪学科发展丛书·材料科学与工程

丛书主编 周光召

开拓未来的新材料

沈宁福 关绍康 王西科 编著

出 版 者：山东科学技术出版社

(济南市玉函路 82 号)

邮 编： 510630

电 话：(0914) 5252000

网 址： www.zengzeng.com

发 行 者：山东省新华书店

印 刷 者：山东新华印刷厂临沂厂

版次：四周年第 1 版第 1 次印刷

印 数：员一猿四四

规格：愿~~愿~~伊~~伊~~开本

印 张：远缘

插 页：源

字数：五、六千

陨杂月量 苑景彗云原原原原原刺日 愿

定 价：58.00元

(如印装质量有问题,请与印刷厂联系调换)

前 言

《开拓未来的新材料》一书是由中国科协统一组织编写的介绍学科发展的大型系列丛书之一。中国材料研究学会是本书的具体编写组织者,郑州工业大学材料研究中心沈宁福教授等承担了编写工作。

本书的目的是向广大读者介绍材料科学与工程领域的学科发展趋势及其对科技、经济、社会发展的作用,是一本普及性的科技读物。全书着重介绍在进入新世纪后将有更进一步发展的,并具有代表性的重要新材料。为使非材料科学与工程专业的广大读者易于了解新材料,本书以主要应用领域区分了材料的种类,对各种新材料的组成、性能特点与应用以及发展趋势进行了概略的介绍,并包括了材料检测和材料制备的一些新技术。由于篇幅所限和普及性的要求,本书未能包含所有的新材料和深层次的科学问题,对有深入要求的读者,可参阅相关的学术论著。

本书的第一、二、三、八、九各章由沈宁福教授编写,第四、五章由关绍康教授编写,第六、七章由王西科教授编写。中国材料研究学会副理事长李成功教授对全书进

前言

行了审阅。在本书的资料收集过程中,得到了周廉院士、王占国院士、李成功教授、李述汤教授、金亿鑫教授、赵连城教授、张兴栋教授和洪时藏教授的支持和协助,在此一并致谢。

编者

周国良 年 远月

目 录

第一章 材料与人类文明进步	员
第一节 人类文明进步史与材料	圆
第二节 材料在现代科技与经济建设中的地位	苑
第三节 材料科学与工程范畴和任务	猿
第二章 信息材料	怨
第一节 信息技术与信息材料	圆
第二节 信息的运算和处理材料	愿
第三节 信息传递材料	苑
第四节 信息存储材料	怨
第五节 信息显示材料	獭
第六节 信息的检测和传感材料	猿
第三章 航空航天材料	源
第一节 航空航天器对材料的要求	源
第二节 高强度耐热金属结构材料	愿
第三节 先进复合材料	缘
第四节 烧蚀防热与其他功能材料	猿
第四章 能源材料	缘

第一节	能源材料概述	远
第二节	新能源材料	远
第三节	节能材料	源
第四节	储能材料	源
第五节	能源材料的发展前景	源
第五章	生物医学材料	袁
第一节	生物医学材料新领域	源
第二节	医用金属材料	源
第三节	生物陶瓷	袁
第四节	医用高分子材料	源
第五节	医用复合材料	范
第六节	生物医学材料的研究热点及发展趋势	袁
第六章	环境材料	袁
第一节	环境材料的含义	源
第二节	不对环境造成破坏的材料	远
第三节	净化环境的材料	源
第四节	循环再生材料	远
第七章	先进功能材料	袁
第一节	功能材料的特点及其分类	源
第二节	智能材料	远
第三节	纳米材料	源
第四节	梯度功能材料	源
第八章	材料检测的先进技术——电子显微学	袁
第一节	透射电子显微术(TEM)	袁
第二节	晶体的高分辨电子显微术(HRTEM)	范
第三节	扫描电子显微分析(SEM)与电子探针(EDS)显微分析	源

第四节	高空间分辨分析电子显微术(粤)	页
第五节	场离子显微镜(云)和原子探针(粤)	页
第六节	扫描隧道显微镜(云)与原子力显微镜(粤)	页
第九章	新的合成与加工技术产生新材料	页
第一节	制备亚稳态新材料的特殊技术	页
第二节	微重力场中的材料制备	页
第三节	自蔓延高温合成技术	页
第四节	碳纳米管及相关一维纳米材料的制备	页

第 *1* 章

新世纪学科发展丛书

材料与人类文明进步

第一节 人类文明进步史与材料

当人依照生活或生产的目的来使用某种物质时,这种物质便成为材料。远古时的人把石块加工成石斧、石刀,用石斧宰杀动物,用石刀切肉以果腹,将岩石加工成四方石块用以建筑房屋,石头就开始成了材料。吃剩的骨头用来作刀,骨也就成了材料。开始时人类捡拾自然界中植物的果实或宰杀动物以果腹,后来学会了栽培植物,饲养动物为家畜,这大概是在新石器时代以后(公元前约四千至二千年)的事,为此不仅要利用木料或石料,还要应用陶瓷和金属。考察人类文明进步的历史,可按制成生活或生产活动的用具所需的材料,大体分为以下三个阶段。第一个阶段,人类使用的物品是只从外形上将天然材料加以改变而得到的,如将桤木做成农耕用的锄,加工天然石块做成刀等。公元前约四千至二千年埃及人建造的金字塔,其建造技术和宏伟的气势至今令人惊讶,但当时使用的只是天然的岩石。第二个阶段,人学会了对天然材料作进一步的加工,不仅使其外形改变,而且使天然材

料的内在质地也发生了变化。如将泥土干固后制造成住所用的砖,从含有铜或铁的矿石中提炼出金属铜和铁等。第三个阶段,人类开始用“合成”的方法制作那些在自然界中不存在的材料,这已经是近代的事了。例如合成树脂,从1869年贝克兰德发明的酚醛树脂(电木)进入实用以来,仅仅70多年,就出现了塑料时代。合成材料不仅有塑料等有机材料,还有许多合成的无机材料,如带来原子能时代的钷等超铀元素、硬度超过碳化钨的立方晶体氮化硼等等,20世纪可以说是合成材料的新纪元。从第二、第三阶段的材料中,对人类生活影响最大的是陶瓷、青铜、铁、铝和塑料等。

陶瓷

陶瓷器可分为陶器和瓷器,二者的坯料都是由长石、硅石和矾土构成的。陶器的原料中矾土的成分多一些,是粘土质,而瓷器的坯料是矾土成分较少的矿石质。陶器是由粘土坯料烧制而成的,最古老的尖底陶器的历史大概可追溯到7000年以前。所以最早可称为材料技术的就是粘土的烧结技术。在考古发现的绳纹陶器中,已在粘土中有意识地混合了云母和砂子,这是古人为了改善陶器的成型性能,并且防止在烧结过程中由于收缩而产生龟裂。可见现代复合材料中所利用的粒子弥散强化效应的思想,在远古时就已萌芽了。在陶器生产技术的发展中,陶工旋盘的发明起了很大作用。有了陶工旋盘,碗或壶状等旋转对称物品就能高效成型了。在中国,约4000年前的黑陶制品就是由陶工旋盘成型的。

青铜

材料技术史是从陶瓷器开始的,然后是铜。当然从金属的应用历史来说,金和铁要更加古老些,因为在自然界中有纯金和少量纯铁(陨铁)存在。而纯铜在自然界中

含量甚微,地球上的铜多以化合物的形态存在于矿石之中。要使用金属铜,首先要从矿石中把铜提炼出来,再加工成一定形状的制品。由于铜的冶炼较铁等容易些,所以铜的冶炼技术出现最早。古代人大概在公元前 2500 年以前就学会了从孔雀石中冶炼铜,铜的冶炼和铜的铸造技术是同时出现的,为此要把冶炼所得的铜加热到铜的熔点 1083℃ 以上。在此之前,人已掌握了在 800℃ ~ 900℃ 的温度下烧结粘土,使其成为陶器,为了铸造铜,在加热技术上又前进了一步,使加热温度提高了约 100℃。纯铜的制品,虽易于加工,但作为工具或武器其硬度却不够,进而发现在铜中加入锡成为铜锡合金后,其硬度显著提高,这就形成了青铜的冶铸技术。以前的石制工具和刀剑就被青铜所代替了,所以称为青铜器时代。至今,成分和性能更为改善的青铜仍是一种重要的金属材料。当然在近代,铜还是一种重要的电工和电子材料。从铜开始,人类掌握了金属的冶炼和加工技术,制造出的工具所具有的功能是木、石制品所不能比拟的。在此之前,陶器主要作为生活用具使用,改善了人类的生活条件,而青铜器的出现使各种工具的制作成为可能,对于提高人类社会的生产力和促进人类文明的进步都作出了重要的贡献。

钢铁

从矿石冶炼铁的技术比铜要晚 1500 年左右,公元前约 1500 年人类才学会了炼铁,这是因为铁的冶炼比铜更困难,铜的熔点为 1083℃,而纯铁的熔点高达 1538℃。纯铁的硬度还是不能满足人类生活、生产活动的需要,而在铁中加入少量的碳后,硬度便能显著提高,这就是钢;铁中碳和硅等元素更多一些,就成为铸铁,它的强度虽不如钢,但熔点较低,且易于铸造成型。炼铁开始采用炒铁的办法,就是将含有铁氧化物的矿石粉粒和木炭混合后

一起加热,使铁氧化物中的铁还原成为金属铁,再将铁粒锻打成铁棒。铁棒在固态下与木炭一起加热渗碳,便成为钢。这种办法虽可得到纯铁和钢,但效率很低,很难大量生产。以后当加热技术进一步发展后,才掌握了直接炼制钢水的技术,这大概在公元前 缘园年。与铜相比,铁和钢较为价廉,因此很快就得到比铜更为广泛的应用。虽然通常认为材料的纪元始于青铜(公元前 圆园年),但从对人类文明史的影响来看,铁的作用比铜更大得多。而铁和钢对文明的真正贡献是在产业革命时代。蒸汽机的制造和应用在产业革命中起了关键的引导作用,而没有铸铁和钢的冶铸和加工技术,就不会出现瓦特时代的蒸汽机。蒸汽发动机的应用促进了炼铁业的发展,愿年贝塞麦发明了转炉炼钢法,使钢铁得以大量生产,钢铁的性能也大大提高。蒸汽机和钢铁业的兴起使钢的锻造和轧制技术得以进步,并使加工金属零件的机床得到发展。由于加工精度的提高,才使得瓦特蒸汽机能发挥更大的作用。如此,在 愿-愿年的 愿年中,钢铁材料和作为成型加工手段的铸造机、轧制机、机床与提供动力的蒸汽机相互促进,使得工业生产技术迅速进步。到了 愿世纪后半期,各种合金钢相继进入实际应用,随后又开始了轻金属铝的发展时代。

源 铝

虽然直到今天,钢铁仍是现代产业支柱的重要金属材料。但人人可以看到,铝的应用愈来愈普遍,在许多地方铝代替了钢铁,成了人们生活中不可缺少的重要基础材料。从食具、房屋的构件到汽车、飞机,到处都是铝的制品。

铝的工业化生产始于 愿年,在此之前银白色的铝被视为贵重的金属,只有王室贵族才可能使用。据说拿

破仑三世拥有晚餐用的铝羹匙,当时的普通平民百姓惊叹不已。欧里巴·莱特于 1903 年首次乘坐比空气重的机械飞上天空,但他所驾驶的飞机是用木材、布和铁丝做成的。20 世纪初,铝在飞机上开始得到应用。但铝的强度比钢低得多,直到 1905 年才有在强度上能与软钢相匹敌的铝合金。之后,铝合金的品种和性能迅速发展,到二十世纪中叶,铝合金在热处理后的强度可达到 280 兆帕,称为超硬铝,使得飞机等运输机械得以大量采用铝合金。可以说,是铝和铝合金使人类飞上了天,实现了高速的空中旅行,现在地球上最遥远的旅行也可以在 1 小时内到达,从这个意义上说,在当代社会的国际化中,铝起了重要的作用。

塑料

最早的塑料是 1907 年上市的酚醛树脂(电木),主要作为绝缘材料和小生活用品使用。20 世纪 20 年代以后,合成化工得到了迅速发展,各种人工合成的塑料和塑料制品层出不穷,今天从垃圾袋到飞机到处都在使用塑料。现在的生活中如果没有塑料就会变得难以想像。塑料与陶瓷、金属以同样的重要性支撑着现代文明。目前全世界每年生产的塑料在体积上已经超过了钢铁。塑料的密度小、重量轻,又耐腐蚀,因而能满足生活和工业中的许多需要。由于塑料的刚度和强度在某些工程应用中还嫌不足,在塑料中加入纤维、晶须、坚硬颗粒后便成为综合性能更好的树脂基复合材料。当然,塑料的扩大使用,特别是塑料包装材料的大量增加,也带来了新的环境公害的问题。因为塑料不像金属那样可以方便地回收和重熔,一般的塑料在自然界中不会分解,因此在享受塑料给人类生活带来的莫大方便的同时,塑料的再生利用和“降解”塑料的研制正日益迫切地被提到议事日程上

来。

第二节 材料在现代科技与经济建设中的地位

材料与信息、能源、生物技术将是新世纪中科学技术和经济发展的基础。在过去的几十年中,由于全世界的材料科学家、工程师和产业工人努力工作的结果,已使各种材料的性能达到了几个世纪前人们难以想像的水平,而在进入新世纪后,又面临许多新的挑战,下面仅举部分例子来说明。

结构材料的强度密度比(比强度)是材料应用的一个重要工程性指标。现代先进材料的比强度与两个世纪前铸铁相比,已经提高了大约 100 倍,见图 1-1 例如,

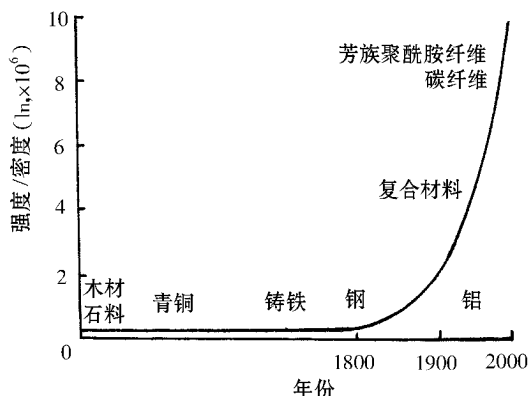


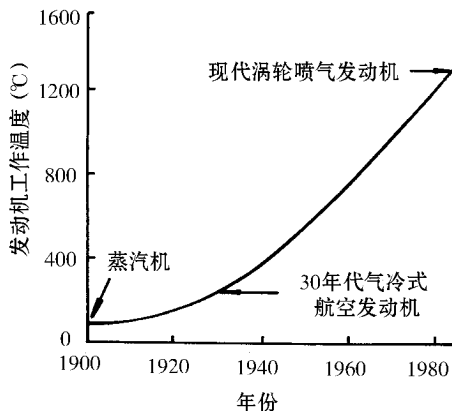
图 1-1 材料强度密度比在不同年代里的进展(由图中可以看出,现代先进材料的强度已比原始材料提高了约 100 倍)

为了从铸铁杆的一端吊起 100 吨的重量,如果铸铁的断裂强度为 100 兆帕,则要求杆的横截面积为 100 毫米²,单位杆长的重量约为 100 千克/米。而用现代高强度聚合物纤维吊起相同的重量,所要求的横截面积仅为 10 毫米²,

单位长度的重量仅为 0.004 千克/米。人们每天都感受到材料技术进步的好处,各种用具更轻更有效了,汽车和飞机由于自重减轻而更省油且速度更快了。

材料是否在高温下还有足够的强度,这对发动机和发电站将热能转换为机械能或电能的效率有重要影响。工作温度愈高,能量转换的效率就愈高。采用普通材料的发动机其能量转换的效率不超过 30%。采用高温合金可使发动机在 1000℃ 以上工作,采用先进陶瓷材料可将发动机工作温度进一步提高到 1500℃ 以上,使发动机的最高理论效率达到 60%。更有效地提供各种形式的能量,就能减少燃料的消耗,降低对环境的污染,这对防止全球生态环境的恶化有重要意义。图 1-1 示出了

图 1-1 在 20 世纪内由于采用了现代材料使发动机工作温度急剧上升



20 世纪中由于采用现代材料,使发动机工作温度不断提高的情况。

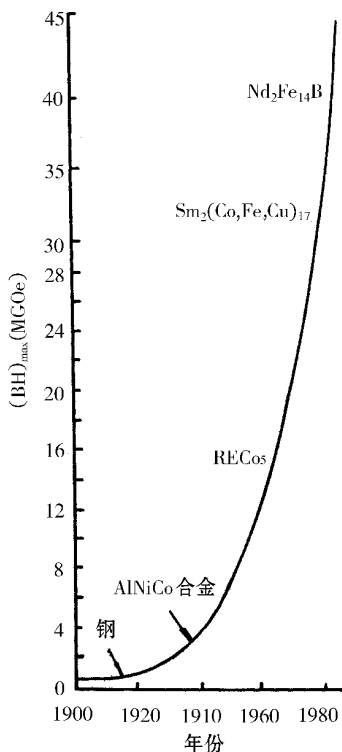
各种新能源的研究、开发和应用是 20 世纪后半叶中最重要的科技进步之一,它与是否能成功地采用各种新材料同样有着重要的关系。在现在的核分裂炉中,

如果没有核燃料、减速材料、反射材料、屏蔽材料和能够承受高温、辐照、腐蚀环境的高性能结构材料,那么核电站就不可能安全运行。在受全世界所关注的核聚变产生能量的技术中,因为应用和太阳发生能量相同的原理,所以一旦成功人类就可获取无尽的能源。几个主要工业国家从 20 世纪 50 年代开始,已经投入了大量人力物力进行研究,但至今尚未达到实用化的程度。其中主要的困难是:核聚变产生一亿度的超高温,要把它在相当长的时间内封闭在一定的空间内。磁性封闭方式中托卡马克方式是目前研究中最有进展的一个技术方案,但核聚变炉上所使用的材料,比起前述核分裂炉上的材料来,必须承受更为苛刻的工作环境条件,因此材料的耐用性就成了实用化的关键。

在其他的新能源技术中,材料也是达到实用化的关键问题或是关键问题之一。在太阳能的利用中,关键是大幅度降低半导体的成本和大幅度提高发电效率。在地热发电中,高耐腐蚀性能材料的研制是关键。在氢能利用方面,研制性能好,价格相对低廉的储氢材料是关键。燃料电池中要解决好电极材料问题。风力能利用中则要求有轻质、高强度的翼片材料。磁流体发电中要求能在燃气温度为 2000 度时工作的耐热材料。

永磁材料是一种重要的功能性材料。20 世纪最初的几十年中,可以使用的只有特种钢。20 世纪 50 年代研制成功钕铁硼合金,使磁化强度有了重大改善。20 世纪 70 年代出现稀土钕合金,其磁学性能更好。到了 20 世纪 80 年代发明了钕铁硼化合物永磁材料,使永磁体的磁化强度超过 20 世纪初时的 10 倍以上(见图 1-1-1)。有了磁化强度非常高的永磁体,就可以将电机做得体积更小,功率更大,并使电声系统做得更好、更小。此外,永磁体在许多

图 猿原猿 磁性材料的最大磁能积在不同年代的进展



现代机器和科学仪器中都起着十分奇妙的作用。

超导材料的超导电性是在 1911 年首次发现的,在 20 年代时研制出了可在 4.2K (原 273.15℃) 以下呈现零电阻的超导合金材料。1957 年起开始了全新型超导材料的研究,使材料在 77K 以下就呈现超导特性。之后,发展具有更高转变温度超导材料的研究工作进展迅速,至 1986 年,转变温度达到 90K 这样就出现了完全可在液氮温度(原 77.3K)

时呈现超导性的实用材料。目前全世界的科学家和材料工程师正致力于将超导材料制成各种实际可用的器件,关键是要突破一系列的材料合成和加工方面的技术问题。超导材料的实际应用对能源的远距离无损耗输送、科学仪器的进步以及人类认识客观物质世界的能力的提高,都将起到不可估量的推动作用。

当你今天正在享受着远距离高速通讯的巨大方便时,光导纤维正在起着巨大的作用。对光导纤维技术性能指标的要求,主要是高的透光度和低的光学损耗。目前使用的光纤大都是熔石英制成的,新的性能更为优