

青年必备知识

新材料 与新技术

郑沙等 编

远方出版社



青年必备知识

新材料与新技术

郑沙 等/编



远方出版社

责任编辑:张阿荣

封面设计:冷 豫

青年必备知识 新材料与新技术

编 著 者 郑沙 等
出 版 社 远方出版社
社 址 呼和浩特市乌兰察布东路 666 号
邮 编 010010
发 行 新华书店
印 刷 北京旭升印刷装订厂
开 本 787×1092 1/32
字 数 4980 千
版 次 2004 年 11 月第 1 版
印 次 2004 年 11 月第 1 次印刷
印 数 1—3000 册
标准书号 ISBN 7—80595—992—7/G·353
总 定 价 1080.00 元(本系列共 100 册)

远方版图书,版权所有,侵权必究。

远方版图书,印装错误请与印刷厂退换。

目录

第一章 金属材料	(1)
第一节 金属结构材料	(4)
第二节 金属功能材料	(8)
第二章 陶瓷材料	(28)
第一节 烧瓷的经历	(29)
第二节 结构陶瓷	(33)
第三节 功能陶瓷	(38)
第三章 高分子材料	(48)
第一节 高分子材料的常有特性	(52)
第二节 高分子材料的发展	(54)
第三节 高性能高分子材料	(58)
第四节 高分子——生物工程材料	(60)
第五节 光致抗蚀材料	(62)
第六节 高分子分离膜	(63)



第七节	高分子催化剂	(67)
第八节	导电高分子	(68)
第九节	医用和药用高分子	(70)
结束语		(71)
第四章	复合材料	(72)
第一节	复合材料的广泛应用	(78)
第二节	未来复合材料的发展	(82)
第五章	光学材料	(84)
第一节	光学材料的组成和制备	(87)
第二节	激光材料	(92)
第三节	光导纤维	(96)
第四节	光信息存储材料	(98)
第五节	非线性光学材料	(100)
第六章	超导材料	(103)
第一节	迈斯纳效应和 BCS 理论	(107)
第二节	第二类超导体	(109)
第三节	1986 年的辉煌	(113)
第四节	超导技术的应用和展望	(115)
第七章	纳米材料	(120)



第一章 金属材料



一提到金属材料,大家也许立刻就会想到钢铁。是的,正是因为有了钢铁巨人的服务,我们才可以坐上飞驰的火车、万吨的巨轮,南来北往;我们才可以建造横跨天堑的桥梁、耸入云端的高塔……人类对世界的建设,几乎一步也离不开钢铁,离不开这坚实有力的改造自然的手臂。

在目前世界上使用的金属材料当中,90%是钢铁,而钢铁之中,80%又是低碳钢。为什么低碳钢会有这么广泛的用途呢?

大家知道,地壳中丰度最高的金属元素是铝,而铁的丰度屈居第二。可是为什么铝的用途不那么广泛呢?

这里就牵扯到了一个有趣的故事。

那还是拿破仑在法国当政的时期。有一天晚上,拿破仑召集手下的将军、元帅大开庆功宴。粉红色的鲈鱼和烤得焦脆的山鸡流水似地送上来,桌上堆满了火腿、龙虾、牡蛎和其他各色精致的菜肴。当然,更少不了颜色诱人、芳香扑鼻的美酒了。将军们举着沉重豪华的银杯,喝得兴高采烈。明晃晃的牛油烛发出淡淡的腥味和轻微的劈劈啪啪的



声响，早就被人们热烈的情绪和欢声笑语掩盖住了。

忽然，一位将军发现，拿破仑的手中，拿着一只轻巧的小酒杯，银光闪闪的却不甚醒目。不一会儿，窃窃私语就使得大家都看到这只酒杯了。

拿破仑知道他手中的酒杯吸引了众人，于是自豪地说：“这是一只铝杯，它的造价比黄金还要高。”

“铝？”大臣们流露出一解的神色。忽然不知怎么搞的，他们齐声欢呼起来：“天佑吾皇——”。

为什么当时铝的成本那么高呢？因为铝是一种十分活泼的金属，自然界中的铝全部是以氧化物或盐的形式存在的。为了制得纯金属铝，只能采用电解或者置换反应的办法。铝的氧化物是不导电的，而且熔点将近 2300 摄氏度，所以在当时电解铝是不能实现的。因而人们只能用金属的钾、钙或钠来置换出铝。那么比铝更活泼的钾、钙、钠又是哪里来的呢？这回是用银片和浸有盐溶液的纸做成的原电池电解来的了。为了得到足够大的电流，人往往得用好几千乃至上万个银电池串联起来。这种情形之下，成本之高也就可想而知了。

铝同钢铁比起来，更轻，更耐大气氧化，它同时具有比钢铁更好的导电导热性。可是同钢铁比起来，铝不够“结实”，铝丝比铁丝钢丝软得多，而且更容易切断。如果要让金属干力气活，比方说的一根支撑屋顶重量的大梁，钢铁比同样粗细的铝的大梁就可靠多了。





人类在公元前七八世纪就会炼铁炼钢了。大家不妨想想干将、莫邪投身火炉以炼成那削铁如泥的宝剑的传说；还有近 20 年前出土的越王勾践剑，经历了几千年之后还没有一丝锈蚀，一次可以劈断十几个铜板的神奇故事。这一切，一方面说明了古代人民无比的智慧与创造，另一方面也说明钢铁的冶炼是一件不太难的事，也就是说炼钢炼铁成本不太高。



除了钢铁之外，其他的金属，比如镁、铅、铂、钨、钼等等（反正元素周期表上带金字旁的都可以归类为金属），也在不同的领域发挥着其他金属不可替代的作用。人们正尝试着将有色金属的应用范围进一步拓广，降低成本的同时开发出具有特定功能的新合金。比如火箭助推器上有些部件将有十几分钟处在上万摄氏度的高温中。在这种情形之下，没有什么金属是耐得住的。于是人们多次试验之后，发明了钼渗铜的工艺。也就是说，在难熔钼的基体网络之中，渗进铜的微小颗粒。当体系处于高温之中时，由于铜的熔点比钼低很多，铜就先液化成为液态铜，并逐渐从钼的网络基体中渗出来，进一步汽化逸散开。我们都知道，固体熔化乃至汽化是要吸收大量的热的，于是基体钼始终处于一种动态被冷却的过程中，不被烧熔。这不是一种很巧妙的办法？我想我们的读者朋友自己动脑筋都是可以发明出这个办法的。当然，实现钼渗铜的工艺还是很难的。实际上，这是航天工业 90 年代的一项重要成果。我国作为稀土大



国有待开发的类似技术还很多很多,这不也正是下个世纪材料事业的一线曙光吗?

第一节 金属结构材料

其实,不仅是金属,一切材料都可以分为结构材料和功能材料。什么是结构材料呢?用形象化的话来说,就是干“力气活儿”的材料。结构材料就像一个肩膀宽阔、肌肉发达的男子汉,总是举着万钧重物,或是用缆绳拉着另一头如山般大小的构件。那么什么又是功能材料呢?功能材料,是干“精巧活儿”的材料,就仿佛一个在江南花荫下刺绣的小姑娘,利用自己的一技之长干着很特别的活儿。

金属的结构材料中,最重要的是——大家猜猜是什么?对了,是——钢铁。大规模工业炼钢算到现在快有150年了,总的说来,无非是烧熔矿石,还原氧化铁,除去杂质这么几个方面。那么我提一个问题:3000年前中国古人没有能把钢铁烧熔的炉子和一整套成熟的现代工艺,削铁如泥的宝剑是怎么生产出来的呢?

这实在是一个很有趣的问题。大家还记得“趁热打铁”和“百炼成钢”这两个成语吗?秘诀就在这里。钢和铁的区别,主要在于含碳量。含碳量越低,钢铁脆性越小,越结实。(当然,假如铁中一点碳都没有,也就是纯铁,是相当软的。)



一般刚炼出的铁,含碳、硫、磷的量都太高。为了降低这些有害元素的含量,工匠们把铁烧红,反复锤打,有时候还在铁砧上垫上骨头和奇怪的药物。为什么呢?对,为了脱去硫磷和过多的碳。当老师傅看火候差不多了,将打制成形的钢铁器具(比如镰刀、犁头之类)放水中一浸,大功就告成了。



还有传说,说炼出的刀剑,必须红热时插入活人的身体,才有灵气(比如现世流传的几把大马士革剑),又为了什么呢?这就又牵扯到了一个比较高深的问题。其一部分原因是,刀剑为了好使,必须本身弹性好,不易脆断,这自然要求刀剑身上含碳量不能太高。可是这样一来,刀刃就软了,刃口不利。所以最好的办法是让刀剑基体软而韧,让表层、尤其刃口处硬而利。当红热的刀剑沾上鲜血,血中一部分碳与刀剑表层的铁原子结合生成致密的碳化铁或形成一层很薄的四氧化三铁,于是刀刃就硬了。

烧红的钢铁急冷下来,本身还有更深刻的变化。高温时,分子运动比较激烈,与低温时的排布会有很大不同。当金属急冷下来,高温时的原子排布情况会冻结下来,进而形成亚稳结构。这种亚稳结构往往会使材料更硬、更结实,用所谓专业术语来说,是“强化”。

以结实的程度来说,钢铁几乎是最物美价廉的材料。不过在今天,许多脱颖而出的新的结构材料正试图替代钢铁的位置,比如陶瓷和复合结构材料等等。但可以预计,在



下个世纪,钢铁仍会在结构材料中唱重头戏。现在摆在我们面前的就有这么好几个大的课题:

1. 冶炼技术的提高

人们希望可以精确控制冶炼的温度、各种化学元素的含量和化合物的存在形式,并努力寻找使有害的硫、磷杂质含量降低到零的措施。另外,降低成本和冶炼过程自动化的提高也是努力的目标之一。

2. 各类钢种的完善

目前世界上的钢种,不说上万种也有好几千种了,可是钢种的提供仍不能满足人类的需要。例如 1995 年,英国、美国、日本以及欧洲和北美洲的汽车制造厂商决定联合开发超轻钢汽车车身,以替代现有的铝车身。他们预计,超轻钢车身的选用,对比铝车身成本可以降低 14%,重量可以减轻 35%,而强度(也就是结实程度)高一倍以上,真是太有诱惑力了。

3. 微观相变机的研究

刚才我们曾提到过,高温金属急冷会冻结高温原子排布状态形成亚稳结构使材料得到强化。这种转化中的一些被称为相变。关于相变的机理研究相当不充分。如果我们精确了解为什么转变和怎么转变,反过来就可以更好地利用这些转变来使材料性能得到提高。

4. 金属材料力学性能的量化

没有一种材料是不会坏的。如果我们拉断一根铁丝,

断裂之前它首先会先被拉长,还会变硬、变脆。所有这些特性,我们都必须用量化的方法来确定。假如一根直径五厘米的钢缆只能吊起两个集装箱,用它去吊三个集装箱显然不太明智。这些量化的工作人们一直努力在做,对相应的特性,寻找相应的标准。然而问题就在于许多标准现在相当不好用或者相当模糊,而这也正为未来的努力提供了方向。

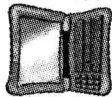


5. 综合提高材料的性能

日常生活中,我们就知道玻璃比钢铁硬得多。玻璃可以在钢铁表面留下划痕,可是你拿一只铁钉在玻璃板上划划看,决不会留下什么印迹。你再把铁钉扔到地上,百分之百不会摔断;扔块玻璃试试呢?“哗啦”一声,玻璃全碎成小片。这正说明了材料的一个普遍特性:越硬的材料越脆。牛皮糖又老又韧,实在是可以归因于它又软又有弹性。如果人们可以综合提高金属材料的强度和韧性;一定会给材料应用的世界带来历史的飞跃。

6. 无损探伤

横架房顶的大木梁假如根本就是断的,这间屋子就危险了。如果大梁被一只肥胖的老鼠咬去了 $2/3$,估计这屋子也安全不到哪里去。可是如果老鼠走过时为了好玩只啃了两口,危险性就可说几乎没有了。金属材料也是一样;在使用过程中,材料内部没准会渐渐产生窟窿,表面上产生裂缝。可是只有窟窿和裂缝大到一定程度,材料才会断裂。



为了提高安全,人们往往把受力的构件做粗大一些,同时也延长些寿命。承载能力越强的材料,就可以做得越细,那么类似窟窿和裂缝的大小的影响,一般也就越大。比如说电厂通高压蒸气的钢管,在不能损伤钢管、不能停止生产的情况下,怎么才能判断钢管内部窟窿有多大,裂缝有多深,它们又是以多大的速度在生长呢?一旦检测失误,使用不安全的管道导致爆炸,国家财产和人身安全将会遭受巨大损失。假如做保守处理,早早更换管道,成本又太高。这个难题就是无损探伤。目前已有的办法,主要是超声波检测和正电子湮没的方法。其基本原理无非是照射到材料内部后,对窟窿和裂缝的返回信息跟照到致密基体上的返回信号不同而已。大家如果有兴趣了解医用CT机的工作原理的话,就会发现利用x光和核磁共振这一高深理论得到的无损断层扫描,实际上和以往的无损检测思想出发点毫无二致,只是手段上不同罢了。



第二节 金属功能材料

人们都说:“三百六十行,行行出状元。”不论是绣花、编织、淘米,还是修门轴、做雨伞,江南小镇上都可以找到干活干得极漂亮的能工巧匠。在材料的世界中,也是如此。唯一的区别是人们往往先发现这些能工巧匠,然后才发现他。





们干的一手绝活。而这些绝活，给我们的生活带来了难以计算的便利。

近十余年来，材料发展的前沿主要集中在功能材料的发明和应用上。有许多具有特定功效的材料，本身就涵盖了好几个专门的材料方向。例如我们制得的粒度纳米级 ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$) 金属粉末，它本身具有很独特的物理、化学性质，因而列身于功能材料之类；另一方面，它又被单独列为利用某一物理机理的用该机理命名的材料中。当然，它还被归为纳米材料家族中的一员。因此，如果我们想在材料学中作个分类，各类中的材料不相互重叠一丝一毫，也就不可能了。事实上，材料科学的发展日新月异。许多新事物不断提出，导致学科本身的巨大演化变迁。针对金属的功能材料，这一节主要介绍贮氢材料、形状记忆合金两种。

贮氢材料

如果大家找出 20 世纪对人类有最重大作用的三大发明，大家不约而同会想到：计算机。除此之外呢，就该争论不休了。有人会说：“飞机、坦克。”有人会说：“水车、汽车。”也许还会有人说：“原子弹。”的确，飞机、火车、轮船，电灯、电话、电报，以及更先进的复印机、传真机，乃至 BP 机（更不消说 90 年代后发展起来的 Email）无不我们的生活创造了巨大的便利。至于还没有深入寻常百姓家的原子能工业、航空航天技术，实际上也以各种潜在方式进入了我



们的生活。别小看厨房里的微波炉、不粘油抽油烟机,涉及的许多先进科学技术,就是从这些大型化的国防技术中脱胎出来的,正应了“军转民”这个说法。

总的说来,它们无非两类。一类是上山打柴,下河挑水的,它们提供能源、原材料等等;另一类,则是烧火做饭,洗衣服抱小孩的,它们消耗能源和原材料,直接给人类干活了。

在所有第二类发明里,消耗能源的方式中,最常见、最基本的,就是燃烧。可燃物质与氧结合,放出大量的热,生成相对稳定的氧化物。生煤炉子、点煤气灶,以至汽车发动机运转,无不如此。可是这种燃烧取能的方式本身,往往也带有不可回避的缺点,诸如热效率太低,大量的热散失到空气中,燃烧产物污染自然环境等等。

80年代以后,世界上汽车、飞机等使用内燃机的生产趋势,开始向提高效率、注意环保、降低成本的方向发展,同时考虑到能源的有限性(毕竟总有一天煤矿被采净,石油被抽干),许多新能源使用方式应运而生。就拿汽车来说,有利用太阳能的日光汽车,有利用二次能源的电动汽车,也有了利用新兴能源氢气(当然,氢实际算三次能源)的燃氢汽车。

以往的汽油、柴油机,是将可燃的油和空气吸入供以燃烧的空间——气缸中。油汽化或雾化在空气中形成可燃混合气。当活塞压缩到差不多气缸内体积最小时,混合气体



自燃或被点燃,瞬时生成大量的热,导致气缸内气体温度猛烈上升,对活塞施以巨大的力,推动活塞克服外界阻力运动,从而完成了化学能向机械能的转化。大家还记得初中化学做的氢气爆燃性实验吗?塑料杯中装着电解水获得的氢气,混入一定量空气后将杯子扣在桌上。老师拔去杯底小塞,用带余烬的木条靠近杯底小孔。忽然,在震耳欲聋的一声巨响和转瞬即逝的一大团火焰中,杯子猛然飞向天花板再落下来,教室里充满了女孩子的尖声惊叫……



用氢作发动机的燃料,不是一件很好的事吗?

使用汽油、柴油(甚至煤油、酒精)的发动机事实上还有好多缺点。由于液态燃料要汽化或雾化后才能很迅速地燃烧,导致无论如何旧式内燃机燃料燃烧也不能充分;更不用说为了汽化或雾化而不得不给发动机带上的一大堆附属机构。发动机活塞一上一下一上一下往复地动,这一上或一下就叫一个冲程。一般,发动机吸气做功一次要经历四个冲程:排放做功后的废气(活塞向上动,气缸中空腔体积减小),吸进可燃混合气(活塞向下动,空腔体积增大),压缩混合汽体(活塞向上动),气体燃烧做功(活塞向下动)。活塞一上一下来来往往,这些往复的直线运动被一套机械机构转化为圆周运动,能量储存在一个质量很大的轮子中。除第四个做功冲程是活塞推一下大轮子之外,其余三个冲程都是大轮子利用惯性带动活塞。为了让这么个大家伙能正常干活,还得有一大堆管进气、出气的阀门,和管进油、出油



的管道……。可是即便如此,另一个大毛病始终逃不掉:可燃气的着火时间。可燃气的着火时间当然最好是在第三、第四冲程之间,也就是活塞差不多在最高点的时候着火。毛病在于,可燃气的着火时间,而汽油的气化,柴油的雾化也未必那么合适,加上燃料本身的原因,可能活塞在第三冲程当中腰可燃气就着火了,或是在第三第四冲程之间,可燃气的燃烧时间会异常的短,火异常的大,对活塞的推动也异常的快。大家别忘了,活塞还拖累着那么大一个惯性轮呢。这么一来,无异于用大锤子向高速奔跑的一个大胖子肚上猛击一下,不出毛病才怪呢。事实上,这种不正常的燃烧会导致发动机的剧烈冲击,专业术语称为“爆震”。如果留心一下老牌东风、解放车,大家经常会发现车在飞驰中时不时“啪”地放出一声巨响,而车胎又没有爆。这一般来说,就是“爆震”了。为了解决这个矛盾,人们除在发动机上作改良外,还在汽油上大做文章。大家在高中有机化学课上将会学到的汽油辛烷值指标,就是干这个用的。为了防爆震,人们往往还在汽油中加入铅的化合物,对环境的危害自然也可想而知。

氢气作为内燃机的燃料还是近些年的事。作为新兴燃料,氢气优点十分的突出。首先氢气的来源十分广泛,无论是作为化学工业的副产品,还是直接电解水的产物,抑或是天然气中分离出的一部分,它的成本之低、来源之广都是汽油、煤油等等传统燃料所不能比拟的。再则氢气与氧化燃料产物是水,连二氧化碳都没有,也没有其他燃烧产物。从