

国内外金属材料及 热处理技术现状与发展

谭家俊 李国俊 主编

国防工业出版社

74 2002

国内外金属材料及热处理 技术现状与发展

谭家俊 李国俊 主编

国防工业出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

国内外金属材料及热处理技术现状与发展/谭家俊,李国俊主编. —北京:国防工业出版社,1995.11

ISBN 7-118-01487-7

I. 国… II. ①谭… ②李… III. ①金属材料-技术现状-世界②热处理-技术现状-世界 IV. ①TG14②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 09147 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32 印张 8 176 千字

1995 年 11 月第 1 版 1995 年 11 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4 000 册 定价: 12.30 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

目前国内出版的各种热处理专业方面书籍中,大多数是注重理论性、系统性或生产实用性论述的,而对于金属材料及热处理的国内外现状与发展论述的书籍则很少。针对这种情况,为使广大热处理工作者对国内外金属材料及热处理技术的现状及发展情况有一个较为全面和系统的了解,我们汇集了年会和学术交流会中有关这方面内容的文章共十九篇。其内容包括:电子行业使用的新材料与热处理新工艺、新技术;热处理工艺装备、计算机在金属材料及热处理中的应用;热处理淬火介质及国内外热处理技术标准等。

由于我们编写这类读物的经验不足,加上取材和水平所限,书中一定存在缺点和错误,殷切希望广大读者与同行批评指正。

本书出版得到了港南工业炉有限公司和柳工机械股份有限公司的大力支持,在此表示衷心谢意。

编 者

43305

目 录

一、材料科学及其发展趋势	1
二、新技术革命与新兴材料	10
三、电子工业中的金属材料及热处理技术的 发展	30
四、电子工业新材料的研究与应用	57
五、仪器仪表用有色合金的现状与展望	70
六、高速钢冷作模具	87
七、国内外模具新材料概况	98
八、DT 钢结硬质合金冷作工模具的技术开发 与应用	104
九、金属材料强化的机理及基本途径	119
十、国内化学热处理发展现状	133
十一、气相沉积技术及其应用与发展	144
十二、常用模具钢的热处理工艺与变形规律	158
十三、热处理工艺装备现状与发展及微机的 应用	185
十四、热处理炉进展	197
十五、计算机在材料与热处理中的应用	214
十六、国内淬火介质发展的概况	227
十七、改善淬火油性能的手段	231
十八、国内外热处理技术标准的现状与我国 热处理标准的编制工作	236
十九、增强标准意识 促进科技进步	242

一、材料科学及其发展趋势

阮春良

材料和人类社会的关系极为密切,它是人类赖以生活和生存的物质基础。人类所用材料的创新和进步,大大推动了社会生产力的发展,它标志着历史发展和人类文明的进程。近代材料大发展和材料科学的形成,使人们对材料的认识达到了前所未有的程度。

(一)人类应用材料的历史

历史学家根据制造生产的材料,将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代。当今,人类已跨进人工合成材料的新时代。

大约二三百百万年前人类在地球上出现之后,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,石器一直是主要的工具。大约到了 50 万年前,人类学会了用火。到了 7 千年前的原始社会末期,人类开始用火烧制陶器,这是人类通过热处理改变材料性质的开始。5 千年前,烧成了三价铁的“红陶”(温度达 950°C)。这种“红陶”是著名的新石器时代的“仰韶文化”的标志。距今 4 千年左右,已经烧出薄胎黑陶(温度达 1050°C 以上),窑炉内是还原性气氛,红色的三价铁被还原为黑色的二价铁,使陶器呈现灰黑色。3 千年前的殷、周时期烧成了细陶,炉窑温度达到 1200°C 。到东汉出现了瓷器,并于 9 世纪传至非洲东部和阿拉伯,13 世纪传到日本,15 世纪传至

欧洲。瓷器成了中国文化的象征,对世界文化产生很大的影响。

获得高温度和控制还原性气氛的技术,是炼铜的两个基本条件。因此,制陶技术的发展为炼铜准备了必要的条件。公元前 2140~1711 年,人们用孔雀石(铜矿石)和木炭炼出了铜。虽然我国的冶铜技术晚于古埃及和西亚,但发展很快,到殷、西周时期,已发展到较高的水平,普遍用于制造各种工具、食器、兵器。商周的青铜器和埃及的金字塔同被认为是奴隶社会科学的标志。有许多非常精美的青铜器是大家熟悉的。如晚商遗址(河南安阳)出土的司母戊鼎重达 875kg,外形尺寸为 $113 \times 78 \times 110\text{mm}$,是迄今世界上最古老的大型青铜器;湖北江陵楚墓中发掘的两把越王勾践的宝剑,长 55.6mm,至今仍异常锋利,是我国古青铜器的杰出代表;湖北大冶发现的春秋晚期的铜矿井遗址深达 50m,冶铜后炉渣有 40 多万吨,可见当时的冶炼规模已达到惊人的程度;前些年在湖北隋县境内出土的战国编钟共有 65 个,总重 2500kg,最大的 203kg,最小的仅 2.4kg,全部用青铜精心铸成,其音律之准确,音色之优美,连最严格的现代声学家都为之惊叹,堪称稀世珍品。这些都是我国古代文化艺术高度发展的见证。1418 年铸成的永乐大钟,高 5.84m,直径 3.3m,重达 42t,在钟上铸有十七部经文共 22 万字,而且全部是沈度手书,可见铸造水平之高。

我国不仅有高水平的实际工艺操作技术,而且有世界上最早的合金工艺学文字著作。春秋时齐国人写的《周礼·考工记》,记述了铜、锡两种金属在不同配比下制成的合金,科学地阐述了青铜的成分和性能之间的关系。他们在青铜器材料的冶炼和使用方面达到了当时世界的高峰,创造了灿烂的青铜文化,它代表了一种新的生产力登上了历史舞台,有力地促进

了生产的发展。

由青铜器过渡到铁器是生产工具的重大发展。公元前 770~475 年,发明了生铁冶铸技术,用铁水铸成农具、工具,这要比欧洲早 1900 年。在战国时期,我们祖先已采用将白口铸铁经 900℃ 高温长时间退火方法,来获得强度和韧性都较好的可锻铸铁,这要比欧洲早 2200 年。到西汉时期(刘邦,公元前 2 世纪),炼铁技术已有了很大提高,采用煤作炼铁的燃料,要比欧洲早 1700 多年,并掌握了渗碳、淬火等热处理技术。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,可见当时生产规模之壮观。

铁器的大发展给生产力的发展带来了飞跃,土地也由奴隶主的“井田制”变为地主的私有制,因而推动了奴隶制社会向封建社会的过渡。在这里,铁器的大量使用成了划分奴隶社会和封建社会两个历史时期的里程碑。

我国古代创造了三种炼钢方法:一是从矿石中直接炼出的自然钢,用这种钢制作的剑在东方各国享有盛誉,东汉时传至欧洲;二是西汉时期经过“百次”冶炼锻打的百炼钢;三是南北朝时期的灌钢。

距今 1800 多年前,我国已掌握了两步炼钢法技术——先炼铁再炼钢,并一直沿用至今。

最近对河南渑池出土的西汉至北魏的窖藏铁器以及河南巩县出土的汉代铁镢进行的鉴定表明,这些远在 1000 多年前冶铸的器件,经扫描电子显微镜显示,发现了分布均匀,带放射纹,并可见到年轮状结构的典型球状石墨。我们的祖先当时可能还不知道加球化剂(如镁、稀土等)使生铁在铸态发生球化,但是他们通过白口铸铁退火得到完整的球化石墨。而球墨

铸铁在国外是本世纪 50 年代才开始发明和生产的。因此,这在世界冶金史上是一项奇迹,引起了国内外学术界的极大兴趣。

我国古代对其它材料的发明和应用也做出了突出的贡献。丝绸是一种天然高分子材料,它在我国有着悠久的历史。

(二)近代材料科学的形成

公元 1000 多年以前在亚洲大地上出现铁器以后,逐渐在巴比伦、埃及和希腊等地得到广泛的应用。经过多年发展,西欧和俄国后来居上,创造了不少冶铁技艺,使以钢铁为代表的材料生产和应用跨进了一个新的阶段。

到了 18 世纪 60 年代始于英国的工业革命,是以纺织业的机械化、蒸汽机的广泛使用为主要标志。由于采矿和冶炼的发展,原材料的来源丰富,机械制造、煤炭工业迅猛发展,使工场手工业的生产方式变成了大工业生产。随着蒸汽机的广泛使用,又发明了轮船和火车,使交通运输也发生了根本性变革。这都是以炼钢工业的极大发展为基础的。工业革命后英国的钢铁产量大幅度上升,年产量从 1 万 t 猛增到 130 万 t。钢铁、无机化工材料、机械等工业产品占世界总产量一半以上,获得了“世界工厂”的称号。

19 世纪 70 年代至 90 年代是以电磁理论的建立及其在工业上的应用为主要标志。法拉第发现电磁感应现象以后,制造出了有实用价值的发电机,但是,电在工业上的应用并不是从制造发电机以后开始的。因为,当时电不是首先作为能源使用,而是用于电报、电话等通信事业,故电的销路不大,电力工业发展不快。自 1897 年美国发明家爱迪生发明了白炽电灯以后,每家每户都用电照明,加上电动机等一类电器的出现,使

用电量猛增,大规模的工业发电才迅猛发展,电力革命的曙光才照到人间。

白炽灯泡的问世,是与灯丝材料的试验成功密切相关的。爱迪生花了一年多时间,一共试验了 1000 多种灯丝材料,最后采用碳纤维丝才获初步成功。以后才研制出用高熔点的钨丝作灯丝。此后,发电厂(站)像雨后春笋般地建立起来,推动了美国工业的发展,促进了发电机、电动机、变压器、电线、电缆工业的诞生或发展。同时,还推动了材料与工艺技术的发展。例如,各种导体、绝缘体及半导体材料的发现;电镀、电解、电焊、电火花加工等新工艺的应用。

本世纪前期,则以核能、飞机、化工和电子计算机的发明或发展为标志。放射性材料镭和钋发现以后,核裂变原理取得重要成果,核能开始被利用;飞机的革新是与航空材料的进步密切相关的;1927~1931 年是化工技术发生转折的时期,继塑料以后,合成橡胶和合成纤维材料相继问世,使有机合成材料工业进入一个崭新阶段;本世纪初,内燃机技术取得突破,汽车开始大量生产,1945 年世界上第一台电子计算机问世,1957 年世界上第一颗人造卫星上天,等等。这一阶段的工业革命使劳动生产方式开始向自动化方向发展。

当今世界,我们又面临着一场新的技术革命。这次革命是以信息科学、材料科学和生物科学为前沿。这场工业技术革命所带来的影响和创造的社会财富,将远远超过历次工业革命。

长期以来,人们对材料本质的认识是表面的、肤浅的。每种材料的发现、制造和使用过程都要靠工匠人的经验,如听声音、看火候或者祖传秘方等。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、艺人的经验技术水平上。后来,随着经

验的积累,出现了讲述制造过程和规律的“材料工艺学”。18世纪后,由于工业迅速发展,对材料特别是钢铁的需求急剧增长。为了适应这一需要,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,并以探讨和研究金属的组织 and 性能之间的关系为自己的主要任务。1863年光学显微镜问世,并第一次被用于观察和研究金属材料的内部组织结构,才出现了“金相学”。1913年用x射线衍射技术研究固体材料的晶体结构、内部原子排列的规律。1932年发明的电子显微镜以及后来出现的各种谱仪等分析手段,把人们对微观世界的认识带入了更深的层次,观察到位错的存在及运动。近些年来甚至可观察到重原子。此外,一些与材料有关的基础学科,如化学、量子力学、固体物理等的进展也大大推动了材料研究的深化。在此基础上逐步形成了跨越多门学科的材料科学。材料科学的目的是依据化学组成和微观结构来解释材料具有的特性;从化学的角度研究材料的化学组成、相关关系、化学键和合成方法;从物理的角度以晶体学、固体物理为基础来说明材料的微观结构与性能的关系;还要研究制取材料和使用材料的有关工艺问题。目前,材料科学的体系见图1-1。

(三)材料科学的发展趋势

材料科学是一门多学科相互交叉的新兴综合性学科,是介于基础科学与应用科学之间的一门应用基础学科。

材料科学是研究材料化学成分、组织结构和性能之间相互关系及其变化规律的一门科学。它的任务是解决材料的制备问题;合理有效地利用现有材料及不断研制新材料。

材料科学的研究内容包括:材料的形成机理和制备方法;

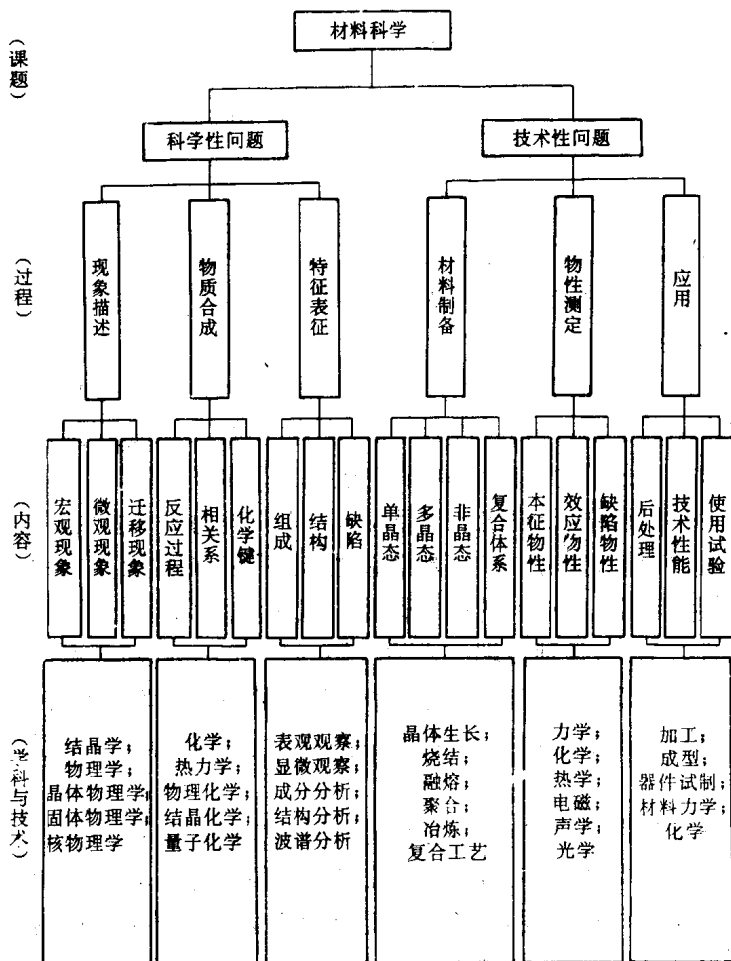


图 1-1 材料科学的体系

材料的组织、结构、杂质、缺陷与性能的关系;材料在加工、使用过程中的变化和失效机理;材料性能的测试和材料的工程应用等。

材料科学的研究,可分为基础理论研究和测试技术研究两大方面。在基础理论方面,由于近代物理、化学、固体物理、量子化学和断裂力学等基础科学的发展,为阐明材料的本质和探索新材料奠定了理论基础,使材料科学进入了微观与宏观研究相结合的新阶段。例如,对金属原子的结构强度分析研究,发现金属在理论上应有比实际高得多的强度值,表明钢铁材料具有很大的强度潜力,从而指导人们去探索无缺陷、强度更高的理想材料。

在测试技术研究方面,主要是利用各种现代化仪器设备和精密测试手段,对材料进行分析、检验。例如,扫描电子显微镜能显示出分子的空间结构,清楚地观察晶体、位错和空穴的位置,并可摄制成能观察到直径仅为一点几埃的原子图象。各种类型的万能、疲劳、蠕变、断裂韧性、动平衡、无损探伤等试验仪器的出现,为材料的机械性能测试和质量检验创造了有利条件。另外,各种极端技术的发展,如 -270°C 的超低温,1亿万分之几千帕的高真空,百万个大气压的超高压等,为深入了解材料在极端条件下的变化规律,提供了强有力的技术手段。

展望材料科学的未来,材料的发展趋势将有如下的特点。

(1)各种结构材料的数量对比将发生很大变化。钢铁材料将向非金属材料过渡;最终取代钢铁材料而占主导地位的将是高分子材料。复合材料的应用将进一步扩大到空间、海洋、人体和核能反应堆等对材料有特殊要求的领域。钢铁材料作为主要的结构材料之一,将向冶金工业大型化,生产过程高度

自动化方向发展。钢铁的性能将通过精炼技术、控制结晶技术、控制轧制技术、表面处理和热处理技术等的综合应用得到改善和提高,强度一般可望比现在提高1~2倍。各种复合钢材、预硬化钢材、异型断面钢材和彩色不锈钢等优质和特殊钢材将被大量采用。钢材的利用率将由现在的50%左右提高到80%。

(2)具有特殊功能和物理效应的新型材料将大量涌现。目前,各国对特殊元素材料的研制十分重视。例如,钎、铍、钼、钽等难熔元素;镓、铟、碲等稀有分散元素;铍、锂、镉、铈等轻金属,它们在电子技术,新能源,尖端科学技术方面占有重要地位。许多功能优异的半导体材料、磁性材料、发光材料、记忆合金、超导材料、光导纤维材料……将进一步得到发展和应用。

开展在超高压、超高温、超低温、超快冷速等极端条件下材料性质的研究,将开拓和研制出更多的新型材料。

随着空间技术的发展,开拓了空间环境对材料性能影响的研究,将生产出地面所无法得到的理想材料。

(3)材料科学的努力目标是按指定性能来进行材料的设计,新材料将建立在“分子设计”基础之上,改变利用化学方法探索和研制新材料的传统做法。将来,新材料的合成,只要通过化学计算,重新组合分子就行了,人类将要完全摆脱对天然材料的依赖,使材料的研究和生产发生根本性变革,人类的物质文明将进入一个令人神往的新时代。

二、新技术革命与新兴材料

阮春良

世界面临的新技术革命,是以信息技术、新材料、新能源和生物工程等科学技术的飞跃发展和广泛利用为标志的,而材料与材料科学在新技术革命中具有举足轻重的作用。近 50 年来,材料领域发生了爆炸性的发展,它支持当代最重要的科学技术成果。各国对材料的发展极为重视,材料的品种、数量和质量成为衡量一个国家科学技术和国防力量的重要标志之一。为了取得新技术的突破和工业革命的成功,必须在原材料上有所突破,这就要求工程技术人员具有更广泛的材料科学知识和各种新兴材料的知识。

(1) 材料的分类

现代材料种类繁多,据世界 1980 年粗略统计,工业发达国家登记注册的材料总和已达 36 万多种,并且每年还以 5% 的增长率增加。

材料有各种分类方法,研究材料一般常按化学组成分类(见表 2-1)。

从使用角度看,不论哪一类材料都可以分为两大类。一类是结构材料,主要是利用它们的强度、硬度、韧性、弹性等机械性能;另一类是功能材料,主要是利用它们所具有的电、光、声、磁、热等功能和物理效应。当然,上述各种材料之间也存在着交叉关系,如非晶态金属介于金属和非金属之间;复合材料

把金属和非金属结合起来。

表 2-1 常见的材料分类及特征

材料种类	组 成	结合键	主要 特征
金属材料	周期表 B—At 线左侧全部元素	金属键	具有金属光泽,良好的塑性、导电、导热性、较高刚度,正的电阻温度系统
高分子材料	碳、氢、氧、氮、氯、氟等	共价键和分子键	轻,比强度高,橡胶高弹态,耐磨耐蚀,易老化,刚性差,高温性能差
无机非金属材料	氧和硅或其他金属化合物、碳化物、氯化物等	离子键和共价键	耐高温,高强度,耐蚀,高脆性,无塑性

(二)常用材料和新兴材料简介

传统的常用材料已经不适应现代化工业和新技术革命的需要,必须有所发展,有所突破。一大批具有优异性能的结构材料和具有特殊效应的功能材料,不断被研制出来并投入使用。

1. 钢铁材料

据统计,1910~1920 年全世界累计生产钢铁 7 亿 t,而 1977 年一年就生产 7 亿 t。1986 年我国钢产量已达 5220 万 t,居世界第四位。目前,我国已制定并完善了钢铁新标准,建立了符合我国资源的合金钢体系,新钢种正在发展。在整个结构材料中,钢铁占 70%左右。

钢铁用途可分为结构钢、工具钢和特种钢。

现代工业技术离不开钢铁,但对钢铁提出了苛刻的要求。

例如:海洋工程用的钢材,需要很高的强度、韧性和耐海水腐蚀的能力;大跨度桥梁需要采用强度和刚性都很好的钢材;发展航天及空间技术则要求材料轻、强度高。对于这些特殊要求,一般碳钢无能为力,合金钢才能胜任。

预计到本世纪末,工业材料虽然仍以钢铁为主,但是将有一部分被高分子合成材料所代替。同时,钢材在性能上也会有很大改善和提高,除了钢材合金化以外,将通过精炼技术、控制结晶技术、控制轧制技术、表面处理技术、热处理技术等的应用来提高钢材性能。强度一般可望比现在提高1~2倍。钢材品种将更规范化、系列化,各国通用的钢材牌号也能取得一致。钢材的利用率将由现在的50%左右提高到80%,使用也将更加合理。

2. 有色金属

工业上把钢和铸铁称为黑色金属,而把钢铁以外的金属及合金统称为有色金属。有色金属的耗用量虽然只占金属材料消耗量的5%,但它们具有许多特殊的物理、化学和机械性能,是现代工业中不可缺少的重要工程材料。

常见的铝是地壳里最多的金属,其次才是铁。铝占整个地壳总重的7.45%,比铁多将近一倍。铝1940~1950年全世界累计生产1270万t,而1977年一年就生产1840万t。现在,全世界铝的产量已经超过铜,仅次于钢铁。铜1910~1920年累计生产1130万t,而1977年就生产1040万t。

我国有色金属已能全部生产,品种达三万多种,能冶炼300多种稀有金属及其合金。其中钨、钼、锡等8种有色金属产量居世界首位。

电线、电缆材料以铝代铜是个方向。铝的导电性比铜稍差,但铝的比重几乎只有铜的1/3,可以把铝线做得粗一些,