

专论与综述

材料科学研究的发展与动态

郭景坤

(中国科学院上海硅酸盐研究所, 200050)

1. 材料是科学技术的先导

自古以来,人类文化的进步都是以材料的发展为其标志。一种新材料的发展可以引起人类的文化和生活以新的变化。石器、陶器、瓷器、铁器、铜器、玻璃、钢、水泥、有机高分子、单晶材料……等的发明为人类的生活带来幸福。科学是人类对自然的认识,技术是这种认识基础上的再创造。材料的发展保证了科学技术的实现。没有新材料的发展不可能使新的科学技术成为现实。因此,从这个意义上说,材料是科学技术的先导。当然,材料的发展依从于其它科学技术的发展,这是相辅相成的关系。而材料作为一门独立的学科除了必须遵循其它基础学科的成就和规律外,还有其个性和综合性。但是材料科学相对来说毕竟还是比较年轻,因此具有极大的发展潜力。对先进材料需求上的发展是极其迅速的。按日本通产省的估计,今后若干年对先进材料的市场估计年增长率约为10%,2000年约达9.5—12.6万亿(10^{12})日元。其中高分子材料、含氢合金、无机材料、碳纤维、生物材料(无机)等增长最快。特别是对氧化物系统的超导材料将会有数量级的增加。先进陶瓷在2000年的市场估计为6.014万亿日元,约为1990年的五倍,其中在功能应用方面从1990年的72.4%下降为59.6%,这表明在其它方面的应用增加比例较快。

2. 对新一代材料的要求

人类的进步对材料不断提出新的要求,现在对新一代的要求大致有以下几点:(1)结构与功能相结合。要求材料不仅能作为结构上的作用,而且能具有特定的功能。最近的梯度功能材料的发展就是一个明显的例子。其次是要求材料能具有多功能;(2)智能型。要求材料本身具有感知、自我调节和反馈的能力,即具有敏感和驱动的双重功能,就如同模仿生命体系的作用一样;(3)少污染。为了人类的健康,要求材料的制作和废弃过程中尽可能减少对环境的污染;(4)可再生。一方面是保护和充分利用自然资源,另一方面又不为地球积存太多的废料;(5)节约能源。要求制作时能耗少;要求能够帮助节能;要求能利用或开辟新的能源;(6)长寿命。要求材料能少维修或不维修。用经济的语言来说是价廉物美。上述要求是各类材料发展的总趋势。

3. 材料研究发展的方向

材料研究发展的方向应遵循以上对材料发展的总趋势。首先强调材料科学基础研究的重要性。材料科学作为一门独立的科学需要完善和不断发展,但更重要的是应对材料工艺的指导作用。新材料需要新的工艺,新工艺要求有新构思、新设想和新理论。实践的第一性是不容置疑的。但在现今大量实践的基础上,理论的发展对实践的指导作用也是不容置疑的。有指导的材料研究,很重要的一个方面是材料设计。根据使用上的要求对材料的组成和结构进行设计以达到所要求的性能,这是发展新材料的必由之路。高、高性能材料的出现必然促成它的新的应用或拓宽它的应用范围。因此,研究材料的合成与制备中的科学问题、研究材料的组成、显微结构及其与性能之间的关系和规律、研究材料的相关系以及研究材料的缺陷、损毁规律、无损评价和使用寿命预测等是为材料设计提供理论根据,是保证和提高材料质量的关键。当前材料研究的趋向是:

3.1 多相复合材料 随着科学技术的发展对材料提出日益高和新的要求,多相复合材料显示出它一定的综合性能和弥补单一组成材料的不足,因而它成为当前材料研究的重要对象。多相复合材料的内涵已经拓宽,它可以包括:

3.1.1 纤维(或晶须)增强或补强复合材料

纤维增强有机高分子复合材料已经得到很广泛的应用。高性能聚酰胺复合材料、聚苯并咪唑(polybenzimidazole)基复合材料今后都将有较大的发展。纤维增强金属基复合材料估计仍以碳纤维或碳化硅纤维增强铝基和钛基复合材料为主要发展对象。纤维补强陶瓷基复合材料则以碳化硅纤维或其它无机纤维为补强剂基体则以非氧化物陶瓷为主的复合材料发展前景较大。从强度/重量比和它们的工作温度来衡量,在 1200℃ 以下作为近期的使用则是金属基复合材料、金属间化合物及其复合材料;在 1200℃ 以上到 1700℃ 左右应用则是陶瓷基复合材料;在 1700℃ 以上应用,则是碳/碳复合材料。玻璃陶瓷基体材料,由于它的性能匹配上的可调性,与纤维组成复合材料可以具有较优的性能,是一类作为 1100℃ 以下使用的较有发展前途的复合材料。

3.1.2 第二相颗粒弥散复合材料

以无机化合物弥散金属的复合材料是当前颇具吸引力的材料。SiC 颗粒增强铝基复合材料和钛基复合材料在改善它们的高温性能方面显示出明显效果。TiC 或 ZrB₂ 弥散的 SiC 基复合材料在强度和断裂韧性上大致可有 50—70% 的提高。SiC 颗粒弥散的氧化锆(Y-TZP)复相陶瓷,在 300℃ 时的高温强度提高约一倍以上,使它在热机上使用成为可能。SiC 颗粒弥散的莫来石陶瓷,常温和高温下的强度和断裂韧性都可以有近二倍半的提高,而且抗热震性能亦大大改进,是作为热机应用的第四种候选材料。用无机化合物颗粒弥散的有机高分子材料在改进它们的耐磨性能和刚性等都很有效。颗粒弥散型的复合材料在工艺上较易解决它的重复性和可靠性,而且成本较低,因此应用前景较好。

3.1.3 两(多)相复合材料

锂铝合金, Ti—Ni 系统的金属间化合物的两相复合材料是提高金属的强度/重量比和使用温度的有希望的材料。两(多)相陶瓷复合材料是自补强陶瓷材料的一条很好途径,也是陶瓷材料剪裁与设计的一个很好对象。例如从 Y—Si—Al—O—N 相图中的 α' 和 β' Sialon 的共存相区中选择材料的组成可以得到兼具 α' 和 β' 特性的复相陶瓷。又如利用该相图的富氮区中的 AlN 多型体具有较大的长径比晶粒特性,是制备自补强陶瓷的有效选择。多相复合材

料是获得具有综合性能材料的一条很好的思路,是很值得研究的一个方向。

3.1.4 无机物和有机物复合材料

无机/有机复合材料应该说已经有很长的历史,以无机物作为高分子材料的充填剂进行改性早为人们所应用。近年来,这一设想的材料发展较好。压电陶瓷与高分子材料相复合在提高它的性能和防老化上均有明显效果。在封装材料中应用这种复合更为普遍。

3.1.5 无机物和金属复合材料

五十年代末期和六十年代前期曾经热闹过一阵子的所谓金属陶瓷,希望集金属与陶瓷各自的长处于一身,而得到一种新型材料。不幸的是通过实践,结果却是更多地集各自短处于一身,而未能很好如愿。这并非思路上的失误,应该说更多地应归咎于工艺问题。最近纳米技术的发展,为金属陶瓷的设想重新燃起了一线光明。通过纳米技术的途径,有可能制备出兼具金属与陶瓷各自长处于一身的新型材料。

3.1.6 梯度功能复合材料

最近发展了一种所谓梯度功能复合材料,即一面是可作为结构作用的金属材料,再逐层地掺入无机化合物,使另一面成为具有很高耐热功能。这一设想早为人们在厚涂层材料中加以应用,但是以此设想来制备材料则是一种大胆的构思,因而一经提出就立即受到人们的重视。最近将此概念扩展,做成 $\text{SiC}/\text{Si}_3\text{N}_4$ 梯度复合材料,使它的性能较纯粹的 SiC 陶瓷有大幅度的提高。因此,利用“梯度”这一设想,可以构思出一系列新材料,是一个很值得注意的研究方向。

3.1.7 纳米复合材料

利用纳米技术来制备复合材料是最近的一个发展。纳米晶粒可以进入到较大的相晶粒中称之为晶内纳米复合;也可以将纳米晶粒分布于较大母相晶粒的晶界上称之为晶间纳米复合。当然两种相都是纳米尺度复合,则成为复相的纳米材料。这一设想可以适用于陶瓷、金属和高分子材料。特别在陶瓷材料方面,纳米复合陶瓷已经有很好的结果报道。

从上可知,多相复合是改进材料性能的一条很好途径,但不是唯一的。各种不同的强化和增韧的机理同时作用于一身,以起到叠加的效应是最具有实用价值的。

3.2 纳米材料 纳米材料是指材料的晶粒和晶界等显微构造能达到纳米级的尺度水平,当然所用的原料——粉料首先是纳米级的。从微米级到纳米级的进步,不仅是制备工艺上的跃进,而且将为材料科学的理论发展以新的推进。

材料的很多性能是与晶体尺寸的大小联系着的,如强度、断裂韧性、应变速率、硬度、超塑性等等。在材料制备过程中的物理和化学行为亦大都与所使用的颗粒尺寸有关。纳米技术的进步使近代的微米级尺寸的材料有可能跃进到纳米级尺寸的材料。

要制备纳米材料,首先是纳米级水平的粉料制备。现在可以利用激光或等离子体的技术从事高温气相合成具有纳米级的金属粉料和陶瓷粉料。用化学共沉淀法、溶胶凝胶法以及水热合成法均可制得相应的纳米尺寸的陶瓷粉料。其次是纳米粉料的成型与烧结。超细粉末所带来的最大问题是团聚。粉料的团聚为它的成型与烧结都引来不利的因素。防止超细颗粒烧结时的重结晶是纳米材料制备中的另一个要认真对待的重要问题。因此,原有适应于微米级材料的工艺都将作相应的改进以至改变。

当颗粒变细,巨大的颗粒表面为整个工艺过程带来重大的变化。胶体的特性更为突出,成型理论应着重考虑它的胶体行为的影响。作为烧结过程驱动力的表面能,由于颗粒变细而引起的影响将变得更为显著,物料的扩散路径变短、接触界面的增多加速了扩散及化学反应

过程,原有的烧结动力学理论的不适应性也会变得明显。在性能上晶粒尺寸效应和晶界效应变得更为重要,对性能的影响变得显著。因此,纳米材料的提出对原有工艺和工艺学理论都将引起重大变革,引出很多需要重新研究的新课题。所以,它的提出是具有方向性和指导意义的,是当前材料研究的一个重大趋向。

纳米材料现在还不可能达到具有量子效应的尺寸水平,但是在性能上已经表现出它的优越性,如某些金属的超高硬度;某些陶瓷的超塑性行为的出现,这为陶瓷解决它的脆性问题找到了一条新的途径。纳米级氧化锆粉料可以在 1250℃ 烧结到理论密度的 98% 以上(比原来的 1650℃ 降低 400℃),具有约 400% 的塑性变形。具有典型共价键结构,无极性的氮化硅陶瓷。而纳米氮化硅却出现与极性相联系的压电效应,较高的交流电导和在一定频率范围的介电常数急剧升高。随着纳米材料的不断研究,将会发现更多的高、性能的新材料。纳米技术与多相复合材料相结合所组成的纳米复合材料使材料的性能成倍地增长。

3.3 智能材料 智能材料是指能模仿生命系统同时具有感知和驱动双重功能的材料。它既能像人的五官那样,感知客观世界,又能能动地对外做功、发射声波、辐射电磁波和热能,甚至促进化学反应和改变颜色等类似生命物质的智慧反应。当然这类材料的智慧功能的获得是材料与电子、光电子技术结合的结果。被动的智能材料能比拟为不需外加的辅助而有效地反映出对外界环境的变化作出响应;而主动智能材料则是通过反馈网络而发挥它的感知和驱动功能。

被动智能材料之所以能有效地响应外界环境条件而不需要外电场、应力或反馈系统来加强它的行为,是因为它自身具有下列功能,这些功能的英文词都是以 S 开头的,权称之为“S 行为”,如:选择性(Selectivity)、自诊断(Self-diagnosis)、自调节(Self-tuning)、灵敏性(Sensitivity)、变形性(Shapeability)、自恢复(Self-recovery)、简化性(Simplicity)、自修复(Self-repair)、稳定性与多元稳定性(Stability and Multistability)、侯补现象(stand-by Phenomena)、免毁能力(Survivability)和开关性(Switchability)。如陶瓷变阻器、正温度系数热敏陶瓷就是比较典型的被动智能材料。

主动智能材料则要求有一外加反馈系统来发挥它自身的感知和驱动功能。如录像磁头定位器即是一例。

3.4 生物医学材料 为了保障人类的健康和长寿,生物医学材料的发展尤为人们所注意。生物医学材料的目标是对人体组织的矫形、修复、再造、充填以维持其原有功能。它要求材料具有相适应的性能外,还必须具有与人体组织的相容性以至一定的生物活性。

具有较高强度的氧化铝陶瓷和氧化锆陶瓷以及带有陶瓷涂层的钛合金材料往往被选作能承受负荷部位的生物体的矫形修复。具有生物活性的羟基磷灰石和微晶玻璃是牙根种植体、牙槽矫形、颌面再造等的可用材料。聚乳酸与羟基磷灰石、磷酸钙的复合材料,以至加入碳纤维或玻璃纤维组成的多相复合材料则是矫形固定器、组织再造等的有效材料。此外,人工心脏瓣膜的碳基复合材料亦都被成功地应用。材料学家与医学家的紧密结合可望创造出更多的生物医学材料来保障人类的健康。

3.5 材料的无损评价 具有实用意义的材料无损评价技术是材料使用可靠性的保证,是整个材料科学与工程研究的不可忽视的一个重要环节。

电子与光电子技术的不断发展为材料的无损评价提供更多的可用技术。提高检测的分辨率固然是材料无损评价的一个努力方向,但是应坚持以实用为主。切实地解决具有一定分辨能力的实用检测技术对新材料的发展是重要的。

4. 一点建议

充分认识材料对整个科学技术发展的先导作用,以战略的高度加以考虑,根据新材料的发展趋势,结合我国国情和实际需要,制订好总体规划和有效的实施计划,组织好我国现有的有限的材料科学与工程的研究力量,重点扶植和建立具有实战能力的研究中心以及开发基地的衔接,当能推进我国科学技术和国民经济的发展。

Developments and Trends of Materials scientific Research

GUO Jing-kun

(Shanghai Institute of Ceramic, Academia, Scinica, 200050)



第五届“国际溶解度现象”学术会议 在莫斯科召开

第五届“国际溶解度现象”(5th-*ISSP*)学术会议于1992年7月8日至10日在莫斯科俄罗斯科学院宾馆召开。

会议是由俄罗斯科学院 *N. S.* 库尔纳科夫普通和无机化学研究所同“纯粹和应用化学国际联合会”(IUPAC)分析化学学会的溶解度数据专业委员会共同举办的。会议主席由普通和无机化学研究所副所长 *Yu. A. Zolotov* 和 *Valyashko* 教授担任。

参加会议的有:美国、加拿大、英国、日本、德国等20多个国家,50多名代表,共提供论文194篇。其中40篇在会上作了交流,其余展讲。论文分为七个部份:(1)相平衡和状态方程,如:德国 *Franburg* 矿冶科技大学化学系 *W. Voigt* 的“水合盐体系液相线实验测定和模型”;(2)熔融盐热力学,如法国 *Provence* 大学物理化学和电化学研究所 *M. Grane-Escard* 的“稀土氯化物热力学”;(3)非水混合物气相体系,如加拿大渥太华大学化学系 *J. W. Loremer* 的“混合溶剂中固体溶解热力学”;(4)复杂溶液化学和电解质平衡,如乌克兰 *Surrely* 大学 *F. Angela* 的“超高分子体系热力学进展”;(5)溶解度数据在工艺上的应用,如莫斯科能源工程研究所 *O. I. Msrtymova* 的“含水体系溶解度数据在工程能源中应用”;(6)污染物溶解度,天然水和环境化学,如索非亚 *Bularian* 科学院 *C. Balarew* 的“海水型体系溶解度在某些工艺和环境方面的应用”;(7)聚合物体系中溶解度现象,如美国 *Rensselaer* 综合技术研究所 *Sonja Krause* 的“对不相容性高分子与高分子体系中数据观察”,等等。

我国仅有中国科学院青海盐湖研究所二位高级研究人员参加了这次会议。通过会议,他们结实了一些知名学者,并了解到国际上该学科研究领域的新进展和前沿,增强了与各国之间学术交流,为今后的研究工作和赶超目标打下了一定的基础。

(盐湖研究所:夏树屏 姚 燕)