

材料新秀——倾斜功能材料

倾斜功能材料是一种崭新的材料,已经引起国内外材料界的极大兴趣。所谓倾斜功能材料,是指由象金属和陶瓷、陶瓷和塑料等这样不同性质的材料,不通过复合而是通过连续改变组成制成的融合材料。由于沿厚度方向其组成逐渐变化,从而使功能也逐渐变化。例如陶瓷和金属组成的倾斜功能材料(超耐热材料),沿厚度方向,一侧能耐高温,一侧导热率很高,机械强度逐渐降低而导热率逐渐增大。倾斜功能材料不同于均质材料,也不同于一般的复合材料。一般的复合材料都有界面,如在包覆层与基体金属或强化纤维与母材之间必然会有异相界面,在该界面处往往产生热应力剥离、界面反应等问题。倾斜功能材料从表面上看与层压复合材料一样,一面是一种材料,另一面则是另一种材料,但是在材料的内部则不同,从一种材料到另一种材料随着成分的连续逐渐变化,其特性也发生于缓慢的变化,因而不存在上述界面带来的各种问题,所以它是材料科学领域绽开的一朵新葩。

倾斜功能材料的开发是同航天技术的发展密切相关的。目前的航天飞机都是用火箭助推,垂直地穿过大气层,到达外层空间后才进入轨道的。这样做是为了缩短航天飞机表面同大气发生摩擦的时间,以免摩擦生热引起温度的过分升高。但是这样做就不能充分利用大气中的氧作助燃剂,因此携带的助燃剂量就要增多。最近提出了一种航天飞机方案,它能使航天飞机利用大气中的氧作助燃剂并接近水平地穿过大气层。实现这种方案要采用新式的吸气式发动机,这种发动机的燃烧室和进气口的温度极高,同火箭发动机燃烧室的温度不相上下,而且使用液态氢燃料对其进行冷却。因此燃烧室壁的内面为几千度高温,外面为负200多摄氏度,而且发动机要反复使用几百次,所以要求材料能承受巨大的热应力,具有耐久性和长寿命。因此人们产生了制造这样一种材料的新设想,即按使用环境要求使其成分和组织沿厚度作连续变化,从而使其功能也作相应改变以满足使用要求。倾斜功能材料的开发最早始于1987年日本科学技术厅的一项“关于开发缓和热应力的倾斜功能材料基础工艺的研究”计划。该计划的研究体制由材料设计、结构控制和特性评价三个部门构成。计划分两个阶段:第一阶段为1987~1989年,目标是试制厚度为1~10mm、直径30mm的小型试样;第二阶段为1990~1991年,试制同样厚度的30cm见方的板状倾斜功能材料。此项计划的最终目标是开发出能承受1700℃的表面温度、1000℃温差的超耐热材料,诸如航天飞机或核聚变反应堆用的结构材料。

1988年初在日本科学技术厅的全力支持下,由日本20个一流企业、9所大学、6个国立研究所和3个团体

作为发起人,正式成立了日本倾斜功能材料研究会。截至1988年7月,已有70多个单位参加了该研究会。研究计划进展顺利,完成了物理真空镀膜法、化学真空镀膜法、薄膜叠层法、自发热反应法制备倾斜功能材料的研究,已在世界上首次试制成功 $\phi 3\text{cm}$ 的圆板状倾斜功能材料。如东北工业技术试验所采用自发热反应的同步合成成形技术,制造出 TiB_2/Cu 系倾斜功能材料,最高耐热1500℃,表里温差约为800℃。利用此技术能合成大型、形状复杂、致密、无裂纹的倾斜功能材料,为航天飞机和核聚变反应堆的开发开辟了广阔的道路。目前日本研究计划的第一阶段目标已经完成,已试制成功5种倾斜功能材料,如陶瓷-碳、碳化钛-钛、氧化锆-镍系、硼化钛-铜系等。

除日本外,美国的NASA、联邦德国的DFVLR(联邦德国航空研究所)等西方国家的国立研究机构也在积极从事倾斜功能材料的研究。

倾斜功能材料具有巨大的潜在应用价值。尽管目前倾斜功能材料的研究以缓和热应力为中心,作为航天航空材料来开发,但是倾斜功能这一概念并不局限于此,也可在其他领域收到显著的效果。在核能利用方面,用耐辐射性材料(陶瓷)作核聚变反应容器壁的内侧,用导热性好且强度高的金属材料作容器壁的外侧,两层之间根据与中子发生核反应的截面积设置原子成分不同的多层陶瓷,并使两种材料的接合面处的成分连续变化。这样的结构有助于减少界面热传导或热膨胀所产生的应力。在电磁功能方面,借助于渐变成分控制技术有可能制造出与衬底一体化的电子产品和三元复合电子产品,实现小型化,并使单个电子产品高性能化。例如半导体器件,传统的硅半导体和化合物半导体因晶格常数的差异较大而难以组合,通过倾斜功能材料可以使硅和GaAs等化合物半导体结合起来,使半导体工业出现崭新局面。在医学生物方面,例如可制作人造牙齿,为了增强生物相容性可采用多孔磷灰石作为牙根,内部采用高强度的致密结构。牙齿的外露部分使用高硬度的陶瓷,中心部位用高韧性的陶瓷。这种结构的人造牙齿,生物组分可嵌入多孔的齿根中,使二者牢固地结合起来,而中心部分的陶瓷又提高了整个人造牙齿的机械强度。进一步还可把倾斜功能材料的概念推广应用于日常生活中常见的纸、纤维、衣料、食品和建筑材料,从而获得面目一新的各种日用品。

倾斜功能材料的主要制造方法目前有蒸发法、喷镀法、自发热反应法和薄膜叠层法等。

(北京有色金属研究总院 钟俊辉)

(责任编辑 刘先驷)