

# 电磁复合材料的发展和应用前景

随着民用、军用和航空航天工业的发展,电磁零件的研究不断取得新的进展。例如,出现了作为细胞组织和体液替代物或仿真的生物电磁零件,作为隐身应用的激活雷达吸波材料,活性表面,以及作为机械阻尼器的“灵巧”(Smart)构件。

这些新型零件不可能由传统材料制造,必须使用按专有特性配制的新型电磁复合材料。这些电磁复合材料由基体材料和添加的内含物(在增强结构复合材料中称为增强体)构成。适当选择基体,以及内含物的形状和排列方式,则可以通过改变介电常数,磁导率和电阻率而控制复合材料的电磁性能。其他因素,如颗粒的体积百分数及其在基体中的弥散方式也对决定电磁性能起作用。

这些新型电磁复合材料所用的内含物主要有:随机弥散在均匀基体中的球形/近球形颗粒;随机弥散在均匀基体中的椭圆形或扁球形颗粒;随机弥散的纤维和针状颗粒;随机弥散的薄片或盘形颗粒;多层层压件或不同相的单层的有序层叠;在基体中的有序取向和定位的纤维;特殊几何形状的内含物,如嵌入基体的蜂窝结构和筛网结构;有意引入空洞或气孔的多相复合材料等。

电复材料也可由具有反电性能的材料制造。例如,一种复合材料可以是绝缘介质和导电介质的综合体。它们的共同边界是电磁性能急剧变化的区域。这种界面不连续性是决定复合材料行为特别是频率响应的主要因素。

复合材料组成相的基本电磁性能,介电响应,磁特性和电导率决定复合材料的电磁行为。它们的本征电性能也影响复合材料的其他理化特性,产生一些独特性能,如:压电性能,磁致伸缩,电热(热电)性,电光性,电化性和电核性。

## 电磁吸波材料

吸波复合材料采用电磁“损耗”成分,其内含物具有复介电常数  $\epsilon' - j\epsilon''$  或/和复磁导率  $\mu' - j\mu''$ 。为达到这些特性,其选材基础是:吸收性;频带宽度(吸收率比频率);环境工作稳定性;涂层/表面材料的复合配伍性。

混合物的相可以是随机球形粒子,或随机纤维或片状物。常使用球形内含物,因为较少的体积百分数就可保证所需的电磁性能,同时可以改进结构和热稳定性。

石墨粉末/纤维,铝颗粒,铁晶须或镍片是常用的典型内含物,基体可以是聚合物或其他材料,如:填充石墨的弹性体和胶乳,聚异戊二烯,硅酮,尿烷,聚氯乙烯,丙烯腈丁二烯,双马来树脂,铁氧体和陶瓷(氮化硅/碳化硅)等。

也正在发展激活材料。没有外部激发,这种材料不吸收电磁能。半导体二极管或其他电子元件嵌入其中,外部激发时,它们开启或关闭,则改变复合材料电磁吸收/反射特性。嵌入式激活材料也可以是光敏、热敏或电压/电流敏感元件。例如,一种激活表面可以由突触连接光

材料工程

敏点组成,曝光时,可以成为电导体并反射电磁能。

一种热敏激活表面是把片状固体电解质(如碘化银)按二维方式排列在被动材料(如陶瓷)中。突触连接的Ni-Cr合金丝嵌入陶瓷用于加热电解质片。在室温,固体电解质是介电质,但加热时,复合材料表面变为导体,并反射电磁能。

交替改变复合材料铺层的几何形状,可以制成选频或宽带的激活和被动表面,通过使用谐振孔层和谐振磁偶极子,制成一种选频或窄带表面,可以在一个单频有选择地吸收或反射。宽带反射器和吸收器使用不同等级的介电层。例如,这样设计了一种吸收器的前面:通过使用材料消散电磁能,它的表面阻抗与自由空间极为匹配,衰减因素增加。

电磁吸波复合材料在其高频到毫米频率范围有许多应用,例如,降低雷达横截面;在许多军用飞船和武器系统中降低雷达横截面;降低电磁干扰;在舰载雷达中,由超结构产生的假回波可造成导航事故,在桅杆和塔的选择面积用电磁吸收体处理可减少其反射;用吸波复合材料涂复降低由邻近导电体引起天线的变形;用作试验屏以在屏内进行高功率雷达系统试验等。

## 仿真材料

仿真材料是一种吸收材料,它模拟人类骨组织和体液,用于研究不电离辐射如射频波,微波对生物系统的影响。仿真复合材料包括水生凝胶基基体,内含物有氯化钠,Al颗粒和抗真菌剂。氯化钠和Al含量决定损耗因素,基体材料决定电容率。这些复合材料的改进型可提供宽带性能,长寿命,不降质性,以及在各种温度和湿度条件的使用性能。

## 电磁屏蔽

高频复合材料屏蔽通过防止射频通道和微波电磁能通道而防止高频系统干扰。屏蔽复合材料由几层有衰减的介电层组成,层内含有电阻颗粒填充剂,如Ni和Al,它们置于基体中,如环氧树脂或酚醛化合物。与使用金属材料(Al, Cu, Fe)屏蔽相比,复合材料屏蔽的优点在于:重量和成本降低,耐磨性和抗腐蚀性高,耐久性高,表面美观。

用于制造屏蔽的金属纤维包括连续股线(束),短切纤维,或空纺、无编织及随机排列织物。

这种材料在飞机上应用的典型例子是一种层压件,或每层为0.2mm厚的多层层压件。每一层都是钨酸硼纤维平面排列于环氧基体中,并嵌入铝或钢丝筛网(20~200筛网)。低频磁屏蔽用于防止高电流设备的功率频率辐射和直流磁场辐射,这种场合通常使用高磁导材料(如软磁高Ni铁合金),但成本较高,因此复合磁性屏蔽是一竞争方案。这种复合材料的构成方法主要有两种:交替包覆导电和导磁材料;低导磁材料(如Fe)与高导磁材料(高 $\mu$ 材料)条综合应用,高导磁条置于低导磁材

料表面, 构成一定花样。

### 准光学复合材料

在光学频率, 某些材料有使通过它们的光波改变极化平面的性能(Faraday-Kerr 效应)。由稀土材料和铁氧体构成的复合材料在准光学频率也可以模拟这种效应。例如, 钇/铁氧体准光学复合材料可以作为散布于空中的人造雷达干扰, 用以改变突发微波能的极化面。

### 复合介电体

现代电子/通信构件中要求低衰减高电容率介电体。高质量介电体, 如聚四氟乙烯, 电容率很低(介电常数 2.1); 而高电容率(介电常数 $>1000$ )化合物, 如钛酸钡, 是非常昂贵的。复合介电体则是低成本低电容率介电体和高电容率介电体的混合物, 可以调到适当体积比, 使这种复合介电体具有高的电容率(与聚苯乙烯相比)和较低的成本(与钛酸钡相比)。

### 手征复合材料

手征介质具有交叉耦合电磁性能, 当施加外部电场时, 可以产生介电和磁响应。同样, 外加磁场也影响这种材料的介电和磁响应。这些性能在准光学频率(微波和毫米波)发生。手征效应是指场极化的左/右偏手性, 用形状不对称的颗粒, 如螺旋体, 不规则的多面体, 弥散于基体介质中, 可以模拟这种效应。由于手征复合材料独特的交叉耦合性能, 它们在电磁屏蔽、天线、极敏感表面和雷达吸波材料中将会有广泛的应用。

### 灵巧弹性复合材料

这种复合材料的特点是多种性能的最佳组合, 如: 弹性、电性能、磁性能。它们的“灵巧”性在于: 其结构行为可以通过外加电或磁刺激而改变。例如, 把这种复合材料嵌入振动梁结构中, 在外加电或磁场刺激下, 可以改变梁的弹性性能。通过振动传感器反馈的安排, 其弹性或磁刺激程度可与所要求的减振性成比例。其结果是一种灵巧结构, 具有适当的振动控制性能。

这种复合材料的基体材料主要有: 电化流变流质和凝胶, 其粘性随所加电场而变化; 压电极化体, 其应力-应变特性由介电体极化的改变而控制, 而极化的改变则由外加电场决定; 磁弹性材料, 外加磁场可以改变其弹性响应(磁致伸缩现象)。

已经发展了两种类型的灵巧弹性复合材料, 这两类材料证明了灵巧弹性复合材料的可行性。

一类是由钛酸钡和聚丙烯酸脂构成的凝胶类材料, 产生灵巧电弹性响应; 另一类是把钹颗粒悬浮于聚丙烯酸脂凝胶中, 产生灵巧磁弹性特性。

### 电化学复合材料

电化学工程中的电极等构件对耐腐蚀性的特殊要求可由复合材料满足。由在疏水剂中浸渍过的碳构成的多孔电极是一种典型的复合结构, 可用于燃料电池。玻璃, 陶瓷, 同位异素碳及几种有机/无机材料是复合材料电化学电极设计中的重要候选材料。

(全宏声)

## 检测疲劳裂纹的新方法

目前, 对微观疲劳裂纹的观察主要采用光学显微镜和电子显微镜, 光学显微镜可观察到长度为  $10\mu\text{m}$  的裂纹, 经过复型, 用电子显微镜可看到长度为  $1\mu\text{m}$  的裂纹。然而, 这些方法只能在试样上进行, 不适用于实际工程结构。近来, 国外研究成功一种凝胶电极成像技术, 专门用来检测铝合金的微观疲劳裂纹。实验表明,  $30\mu\text{m}$  长的裂纹即可被发现。

凝胶电极成像技术的原理是, 通常的铝合金表面都有一层氧化膜, 其厚度约  $10\text{nm}$ , 这种氧化膜导电性很差, 在疲劳载荷作用下, 氧化膜破裂, 形成疲劳裂纹, 曝露出铝合金金属表面, 在大气下新露出来的表面又会形成新的氧化膜, 这种新的氧化膜很薄, 只有几个纳米厚, 而导电性要比厚的氧化膜好。凝胶电极是一种未充分固化的胶体电极, 它含有一种特殊物质, 当有电流流过时它会改变颜色。将这种电极置于产生疲劳裂纹的部位, 在试样和电极之间通以脉冲电流, 这样电极就可记录下疲劳裂纹的形状和长度。将电极放在液氮里就可长期保存疲劳裂纹的形状。如果将电极连接到示波器上, 就可测量出通过电极的电流, 电流的大小与裂纹的面积成正比, 通过事先标定, 可以确定裂纹的实际大小。

用上述方法检测了 6061-T6 铝合金在反复弯曲疲劳过程中裂纹的萌生。将凝胶电极检测结果与扫描电镜检测结果进行对比, 表明新的方法可以检测到宽度为  $1\mu\text{m}$ 、长度小于  $30\mu\text{m}$  的裂纹。后来, 又用同样方法检测 1100 铝合金, 可以发现更为细小的疲劳裂纹, 其灵敏度与扫描电子显微镜相当。

(振明)

\*\*\*\*\*

## 航空冶金技术工作会议将召开

航空冶金技术会议即将召开。上一届航空冶金技术工作会议是于 1977 年召开的。15 年来, 情况发生了很大变化。目前航空工业的冶金工作已经不适应当前航空科技发展的需要, 如不立即抓紧整顿, 就很难保证航空产品的质量。各航空企事业单位对这次会议非常关心, 希望通过这次会议改变冶金工作的现状, 提高对冶金工作重要性的认识, 提高冶金技术水平, 采取有效措施强化冶金系统的管理, 理顺各方面的关系。这次会议的主要议题有:

1. 总结和交流十几年来航空冶金技术工作的经验和教训;
2. 修订、制订航空冶金工作文件, 如《航空冶金工作条例》等;
3. 讨论制订航空冶金技术发展规划;
4. 学习交流适航认可规定, 提高适航认可意识。

现在, 会议筹备工作正在抓紧进行, 并且已经广泛征求了各企事业单位的意见。

(胡元凯)