

# 功能材料在航空中的地位

郝应其摘编

功能材料的概念最初是由美国贝尔研究室 J.A Morton 博士于 1965 年提出, 后经日本国立研究所和各大学的讨论和提倡, 逐渐受到世界材料界的重视而被普遍接受。

过去若干年来, 一提到材料总是以结构材料为中心, 因为它构成各国国民总产值的主要部分, 而功能材料却鲜为人知。其中原因之一是结构材料通常是以吨来计量, 而功能材料往往以克计量, 从而忽视了功能材料的意义。

1977 年日本机械工业联合会对功能材料进行一次全面的调查, 就其发展动向、优缺点等问题进行了讨论。从 1979 年起又花了两年时间, 详细调查了传感功能材料、贮能功能材料、防腐功能材料和生物功能材料等。从 1982 年起又把注意力转向光学功能材料、触媒功能材料、粘接功能材料、润滑功能材料等, 从 1978 年开始, 日本陶瓷协会、金属学会、高分子学会、电信学会等都在其所属学报上发表专辑介绍。

在美国近年的材料刊物上, 有关功能材料研究和应用的报道日益增多, 特别是最近掀起世界范围的“超导合金热”, 席卷中、美、日和欧洲的科技界, 也从一个侧面反映出功能材料的兴起。

## 一、功能材料的分类

对于功能材料的概念, 目前尚不统一。人们普遍认为功能材料是以其本身用途为目的而区别于结构材料。日本 OHT 研究所大森丰明给出的定义是: “功能材料是一种以材料本身的成分、结构、添加剂和制造工艺改进而制造出的, 并赋予有用功能的、附加价值高的知识密集型材料”。

根据发展过程来看, 材料大致可分为被动

型和主动型两类, 前者即结构材料, 后者即功能材料。值得注意的是在未作这种区分之前, 某些功能材料被划入结构材料(如密封材料或防腐材料)。同时随着功能化和多功能化的发展, 一些功能材料五、六年后可转化为结构材料, 或反之, 结构材料转化为功能材料。

功能材料在分类上最大的特点是打破了结构材料习惯采用的成分体系(金属和非金属, 或按元素)而代之以功能体系。因此在一个功能群中可能金属、高分子、无机化合物并存。而分类时, 功能材料中比较明确的材料群就是那些以物理量互相转换的材料, 例如电 $\rightleftharpoons$ 光, 电 $\rightleftharpoons$ 磁, 电 $\rightleftharpoons$ 热等。它们是以电子、离子、声子、光子等微观变化为依据。另一些多孔过滤材料, 则为宏观机制材料。超高温、超高压、超高速等极端条件下使用的材料, 由于其性能违反了一般的要求, 也可单独划出。

总之, 有关功能材料的理论和实践尚处于探索中, 研究者习惯于首先按照物理功能的分类法, 其展开大致如下:

1. 电功能材料: 半导体材料、超导体材料、特殊导体材料、电阻材料、压电材料、有机金属材料、光电磁材料……

2. 磁功能材料: 高透磁率合金、硅钢板、非晶态磁头材料、磁流体、磁膜传感材料、磁管记忆材料、光磁记忆材料、磁致效应材料……

3. 以功能材料: 萤光二极管材料、激光器材料、电光材料、萤光材料、电色材料、液晶、压色材料、光导纤维、光记录材料……

4. 热功能材料: 温度传感材料、耐热金属材料、耐热高分子材料、耐热陶瓷材料、隔热涂层、热管材料、磁冷冻材料、红外线放射材料……

5. 能量功能材料: 太阳能材料、化学贮能材料、贮氢材料、机械贮能材料、核燃料、反应堆材料、辐射传感材料、中子检出材料……

6. 机械功能材料: 压力位置传感材料、形状记忆合金、超塑性材料、弹性和超弹性材料、耐蚀材料、超硬材料……

7.声功能材料：音响材料、乐器材料、弹性表面波材料、防振材料、泡沫材料……

8.化学功能材料：气体传感器材料、温度传感器材料、离子传感器材料、生物传感器材料、过滤材料、反渗透材料、金属触媒材料……

9.生物功能材料：人工血液材料、人工骨和人工关节材料、人工器官材料……

以上九类功能材料中绝大多数与航空有关，在先进电子仪表和特设中占有重要地位，其中一些功能材料已在航空和航天工业中推广使用，现根据国外资料摘要介绍。

## 二、三大功能合金的兴起

八十年代以来，功能合金取得了突破性的进展，由理论探索、实验室研究转向了实际使用阶段，其中最引人注目的是形状记忆合金、防振合金和超塑性合金，合称三大功能合金。它们不仅在国防工业中用于尖端产品，而且迅速推广至民用部门。

### 1.形状记忆合金

形状记忆合金简称记忆合金，是五十年代发展起来的。所谓“形状记忆”效应是指在某种条件下塑性变形的材料加热至某一临界点温度时，材料又完全恢复到原来形状这一现象。一般说来，记忆效应与马氏体相变密切相关。

1958年美国海军军械实验室主任冶金师布勒偶然发现了一种性能特殊的镍钛合金，就把该实验室的英文简写NOL加在合金的后面，组成了Nitinol（镍钛诺）这一名称。三十年来，这种镍、钛各约占50%的合金成为记忆合金的主流。此外，作为商品生产的还有铜系记忆合金，即Cu-Zn-Al和Cu-Al-Ni，在价格上占有优势。其他金、银、镍、铁系记忆合金仍处于实验室阶段。

1960年美国专利3012882发表了CdAgAu合金温度传感器，这是最早应用记忆合金的实例。1965年美国专利3450372发表了TiNi合金人造卫星天线设计。记忆合金板材、棒材和线材组成的天线收卷后纳入人造卫星中，卫星发

射入轨后，天线利用太阳能加热自动展开，后来美国航空和航天局在月面设置抛物面天线时曾讨论了这一方案，但未实际采用。直到70年代，这一设想终于实现。

记忆合金管接头在工艺和密封性方面都优于传统方法。采用转变点约为 $-150^{\circ}\text{C}$ 的TiNiFe合金制成套管，套管内径比被连接管外径小4%，在连接前用液氮保持低温，插入锥形塞子使其内径扩大7~8%，扩管时使用聚乙烯膜为润滑层。扩口的套管仍保持在低温，从两头插入被连接管。当温度上升到室温时，套管恢复原来扩口前的较小内径，从而形成了牢固的套接。1975年报告说，F-14战斗机中的油压管道已使用10万个这种套接头，无一例漏油。这种加工法的优点是不采用高温熔焊，避免了材质受损。在低温下套管可以脱开，便于修理，这种管接头适用于核潜艇和水面舰船。据说还用于直径150毫米油底输油管的维修。

记忆合金铆钉可从单面进行自动铆接，从而解决了难通达部位甚至空心球体的铆接问题。记忆合金的转变点可以用成分来调节，广泛用于电接头、作动器、微动器、定时器、机器人臂、热机和自动干燥库等报警、自动控制仪器上。

在生物工程中，记忆合金制成的血管夹、节育夹、凝血滤网、牙齿和脊柱矫正器等都可在人体温度下恢复其设计形状，发挥医疗效果。在日本市场上，记忆合金乳罩、儿童玩具极畅销，可见其普及程度。

### 2.防振合金

近代工业中的振动与噪音污染日趋严重，同时也影响到设备的精度和寿命。传统的防振大多采用系统和结构方式，以减缓和隔绝振动和噪音。而防振合金的使用却是从根本上消除振动。防振合金最先出现于美国和英国，至今只有十余年的历史，但已有不少家供应商品。

防振合金最初被用于导弹控制板、飞行器陀螺仪和潜艇螺旋桨等先进武器上，以达到提高精度、防振和消音的目的。后来它的使用范

围扩展很快,目前已发展成为运输、采矿和家用电器防止噪音的手段。

从成分上划分,防振合金包括锌铝合金、铬钢、铬铝钢、钴镍合金、镁铝合金、锰铜合金、铜锌铝合金、铜铝镍合金和镍钛合金等。它们之中有些同时又是超塑性合金或记忆合金,因此工作原理和显微组织也有相似之处。

从组织结构和防振原理看,防振合金可以分为四种类型,即复合型、铁磁型、位错型和孪晶型。使用较多的复合型防振合金,它同复合材料一样具有两种不同的组织成分,一种是高韧性的基体,另一种是嵌在基体中的柔软颗粒。在两种组织成分的交界面上很容易产生变形,工作时外部振动能被这种变形消耗而达到防振和消音的目的。片状石墨铸铁即为此种防振材料。铝合金中含有弥散石墨、云母或氧化铝质点的二相合金也属此类。强磁型和双晶型防振合金也是利用两种组织成分来消除噪音。

表1和表2分别列出了日、美等国生产的一些防振合金和使用实例。

### 3.超塑性合金

金属的超塑性现象,是在1928年由英国物理学家森金斯发现的。他给这个现象下了一个定义:凡金属在适当的温度下(大约相当于熔点温度的一半)变得像软糖一样柔软,而在应变速率10毫米/秒时产生本身长度三倍以上的延伸率均属超塑性。

最初发现的超塑性合金是一些简单的二元合金,如锡铅、铋锡等,缺少实用价值。六十年代以后,研究者发现锌、铝、铜合金也具有超塑性,于是苏联、美国和西欧一些国家对超塑性理论和超塑性加工发生了兴趣。特别是航空和航天工业,针对难变形的钛合金和高温合金的加工需要,使超塑性成形成为七十年代流行的新工艺。

表1 防振合金的类型和生产厂家

类 型	合 金 系	商 品 合 金 牌 号	生 产 厂 家
复合型 (应力缓和型)	Fe-C-Si Al-Zn	片状石墨铸铁 SPZ(超塑性锌) Zn-22Al	一般结构用 三井金属
铁磁型 (磁滞型)	Fe, Ni Fe-Cr Fe-Cr-Al  Fe-Cr-Al-Mn  Fe-Cr-Mo  Co-Ni	TD镍 12%Cr钢 Sientalloy(沉默合金) Fe-12Cr-3Al Trangalloy(宁静合金) Fe-12Cr-1.3Al-0.59Mn Gentalloy(温和合金) Fe-0.1~5Mo NIVCO-10 Co-22Ni-2Ti-1Zr	高温合金 铁素体不锈钢 芝浦电器  日本钢管  电磁材料研究所 昭66-26709 高温合金
位 错 型 (位错滞型)	Mg, Mg-Zr Mg-Mg <sub>2</sub> Ni	KIXI	DOW Chemical
孪晶型 (晶滞型)	Mn-Cu Mn-Cu-Al   Cu-Al-Ni Cu-Zn-Al Ni-Ti	Sonostone(音石) Mn-37Cu-4.25Al-3Fe-1.5Ni Ingramute I(弱音I) Cu-40Mn-2Al Ingramute II(弱音II) Cu-40Mn-2Al-2Sn   Nitinol(镍钛诺)	Manganese Marine International Copper   记忆合金

表2 防振合金使用实例

合金牌号	使用实例	效 果
Sonostone (音石)	潜水艇螺旋桨 链式运输机 高速纸带穿孔机	已使用10余年 92呎—87呎 —14分贝
	机械网筛框 凿岩机钻头 滚珠轴承 消音车轮	111—98分贝  —6分贝
Incramate (弱音)	高温振动筛 圆盘锯 处理器	—13~—30分贝
Silentalloy (沉默合金)	直流电磁滑阀 铁路修轨机 大电流直流开关	—4分贝 —2~—4分贝
	活塞顶 门、百叶窗、办 公机器	
轧制球墨铸铁	圆盘锯	—10分贝
Fe-Cr-Al 合金	M113型装甲车	—10分贝(时速50 英里)

目前最通用的超塑性合金为铝、铜、铁、镍合金,均各有10~15个牌号。它们的延伸率在200~2000%之间。如铝锌共晶合金为1000%,铝铜共晶合金为1150%,纯铝高达6000%,碳钢和不锈钢在150~800%之间,钛合金在450~1000%之间。

实现超塑性的主要条件是一定的变形温度和低的应变速率。这时合金本身还要具有极为细小的等轴晶粒(直径5微米以下)。这种超塑性称为超细晶粒超塑性。还有一些钢,在一定的温度下组织中发生相变,在相变点附近加工也能获得超塑性,称为相变超塑性。

超塑性铝合金已经商品化,如英国的Supral 100 (Al-6Cu-0.4Zr) 和加拿大的Alcan 8050 (Al-5Ca-5Zn) 铝板可在300~600℃温度超塑性成形为复杂形状,所用模具费用低至

普通模具费用的十分之一。美国航空工业中超塑性铝合金产品日增,如超塑性7475铝合金制成T-39客机前机身隔板和B-1轰炸机襟翼肋板等,使重量减轻25%,成本降低35%。

钛合金是一种难变形合金,最大延伸率只有30%左右,过去只能采用蠕变成形法加工复杂零件,需时一小时以上。现在,典型的Ti-6Al-4V超塑性合金的延伸率可达2000%,在实际超塑性加工中也可达50~150%,这时成形压力0.14~0.21公斤/毫米<sup>2</sup>,时间仅8分钟。

钛合金的超塑性成形和扩散连接的温度相同(871~927℃),因此可同时进行这两项工艺,直接加工出飞机和航天器的大型结构件。美国通过对F-15战斗机后机身的研究发现,采用钛合金超塑性成形和扩散连接制成整体结构,取消了9个隔框、10根桁条、150多个零件和5000多个连接件,使重量减轻38%,成本降低53%。B-1轰炸机短舱隔框采用超塑性成形和扩散连接也取得类似效果。

在超塑性成形领域内最引人注目的成绩是美国空军材料研究所将Ti<sub>3</sub>Al这样一些耐高温性能极好同时又极脆的金属间化合物加工成涡轮部件,并在F100发动机上试车成功。这些部件包括高压压气机机匣、高压涡轮导向器内衬支撑环、加力燃烧室扩散喷嘴密封片等,与高温合金制件比较,减重40%左右,同时提高了耐高温性能。

### 三、功能材料与航空

许多功能材料,包括前面谈到的三大功能合金大多率先在航空和航天工业中得到应用。这是因为高性能、低重量、高稳定可靠性是航空产品的一致要求,而功能材料可以满足这些综合要求。特别是在考虑下一代飞机和航天飞机的设计时,除了采用新型结构材料外,对功能材料的要求越来越迫切。例如,在高速战斗机和轰炸机上将更多地采用“隐身技术”和“反红外跟踪”技术,其关键功能材料即为吸波

透波材料和特殊红外光谱凝固燃料。

目前,许多国家的研究重点放在最高速度达M12的空天飞机上,为了解决再入大气层的热防护问题,前缘除采用碳/碳复合材料外,还可能需增加液体金属循环冷却管道。这项技术前者需要隔热功能涂料,后者需要耐热防腐蚀功能涂料。空天飞机的外壳可能采用三层结构,由外至内第一层为带涂层的高温合金,第二层为绝热功能材料,第三层为有机基复合材料。空天飞机的低温液氢贮箱,可能由金属基复合材料箱体外包泡沫绝热层组成。所有这些用途中,隔热和绝热材料都成为关键。座舱玻璃除了应具有防止宇宙辐射的功能涂层外,还应具有在核爆炸情况下自动屏闭的功能材料。目前能执行光开关性的功能透明材料为锆钛酸铅透明陶瓷。

由此可见,随着航空技术的发展,一代新飞行器对功能材料的需求将急剧增加。现将一些国外重点研究具有潜力的领域提出供参考。

### 1. 非晶态合金

通常所谓的非晶态材料系指玻璃、聚合物、碳等非金属,而与金属无关。但是,当以比正常快得多的速度( $\sim 10^6$ °C/秒)冷却液体金属时,可以获得类似于液态分子结构的固体金属材料。这种非晶态的金属被称为金属玻璃。

具有非晶态的金属合金在50年代已经出现,即蒸发膜和镀层,但实际进展不大,进入70年代后,连续急冷法成功,制出多种合金丝和板,以后以日本和美国为中心开展了基础研究,逐步发展了超耐腐蚀、高导磁率、恒弹性、低热膨胀、高矫顽磁力的非晶态合金,同时由于制造方法的改进,生产出宽幅板材。1974年美国联合化学公司首先制出商品材料 Metglas, 1975年日本东北大学金属材料研究所制出了 Amomet。

用普通方法制造薄钢带时,首先要浇铸锭,再热轧成原坯,此后还要经一系列的冷轧和退火工序才能轧制成板,总共6~8道工序。而非晶态带材可一次铸成,生产一卷带材只需几

分钟。

非晶态铁基合金是强度最高、韧性最好、最耐腐蚀和最易磁化的材料。在日本广泛应用于磁屏蔽和磁头等小型磁性部件,而美国则用作变压器铁芯。非晶态金属的结构用途包括编织织物、编结管子、层叠板材、电缆和光缆护套、压力容器、储能飞轮、机械传动带、扭矩传输管、橡胶轮胎帘布等。在军事用途中包括火箭机匣、海军飞机电缆、鱼雷等。

70年代,美国空军材料研究所曾委托巴特莱研究所研究非晶态铁基合金和钛合金纤维用于飞机和发动机元件的可能性。在飞机结构中已大量采用有机基复合材料,从结构完整性考虑邻近紧固件区是很重要的,但由于存在元件的搭接使检查难以进行。所以为了防止产生裂纹,要求增强纤维最好具有绕孔塑性变形的能力,硼纤维和碳纤维很难做到这一点,而且抗拉强度也偏低。采用非晶态合金丝代替硼纤维和碳纤维有可能解决这一问题。

非晶态合金在航空上应用的实例是1977年美国联合化学公司生产的镍基合金钎焊箔,已用于JT8D发动机压气机叶片和导向器环的钎焊。这种Ni-Si-B系钎焊箔代替了过去采用的昂贵的金镍钎焊合金,同时提高强度60%。至80年代,该公司已生产MBF1000系列的非晶态镍钎合金钎焊箔,可用于钢、不锈钢和高温合金的高温钎焊,代替82Au-18Ni钎焊合金,效果显著。另一种MBF2000系列的非晶态铜基合金钎焊箔,适用于低温钎焊,可以代替较昂贵的高银钎焊合金。

### 2. 功能高分子材料

进入80年代以来,功能高分子成为最活跃的领域之一,它具有的功能极为广泛,大体上包括:电功能(导电、电绝缘、电磁、压电等),光功能(感光、光导、透明、偏振等),热功能(耐热、绝热、热反射),机械功能(高强度、高模量、滑动、摩擦),化学功能(离子交换、催化、物质鉴别等),生物功能(血液渗透、溶氧、人造器官等)及转移功能

(选择性透过、超过滤性等)。

塑料金属又称有机金属或导电塑料, 它的出现使许多电气产品面目一新。1977年首次报告聚乙炔经化学掺杂后成为导体, 引起世界范围的导电高分子研究热潮。聚乙炔有共轭的双键, 它既可作为供电体, 也可作为受电体与某些氧化剂或还原剂形成电子转移复合物。聚乙炔所用的掺杂剂有卤素、盐类和碱金属等, 使用最多的是 $I_2$ 、 $AsF_5$ 和 $FeCl_3$ 。以聚乙炔作为阳极和阴极的塑料电池具有重量轻, 功率密度高, 可充电的特点。塑料电池形状灵活, 可以制成薄板装在汽车车顶或车门夹层里, 增加汽车有效容积, 同时塑料电池是密封的, 不会释放出废气, 因而有可能制成长途行驶的无公害电动汽车。在飞机和潜艇上, 这种电池也将是有前途的。导电高分子还可制造光电二极管, 太阳能电池等。

高分子光导纤维近年来的发展也很快, 用聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)、聚苯乙烯和含氟聚合物制成的光导纤维, 与石英和玻璃纤维比较, 虽然光损失率高一些, 但重量轻、加工容易、价格低廉, 在短距离光通信领域优于石英纤维。例如, 用高分子光导纤维制造的各种人体内窥镜(直肠镜、胃镜、膀胱镜、子宫镜)和机器探伤内窥镜弯曲度好, 可以消除检查中的盲点, 得出准确的结论。

选择性吸收高分子可以满足各种特定的要求。例如碳化聚丙烯腈的吸附硫醇能力, 比活性碳高10~20倍。这是因为规则的高分子碳化后, 具有可控制的选择吸收性, 用于冷藏库、空气净化机、航天飞机生活舱可以消除臭味。碳化聚乙烯醇具有分子筛作用, 筛目可以控制, 能用于分离氧、一氧化碳和氢气等。利用高分子半透膜能使海水脱盐淡化, 目前采用的是丙烯腈和聚苯并咪唑膜, 不但可以进行海水脱盐还可用于制造超纯水, 处理排水和废水以及分离有机物。此外还有一些选择性螯合树脂, 能与特定的金属离子形成络合物, 用于从工业废水回收有害金属或化工溶液中除金属离子。正

在研究从海水中提取铀的可能性。

### 3. 功能精陶瓷

目前陶瓷的概念已远远超出一般人心目中的杯、盘、碗等生活陶瓷, 所有的固体无机材料统称为陶瓷。因此, 硅酸盐以外的氧化物、氮化物、硼化物、氟化物、硫化物等也进入陶瓷行列, 以其独特的性能和工艺组成了现代的精陶瓷。

精陶瓷应满足下列三方面的要求: 1) 精选的原料——为了充分发挥功能, 要选用高纯度的原料, 颗粒要尽可能细; 2) 严格控制的化学成分——在制造时注意防止杂质混入和成分本身的挥发。对烧结件的颗粒粒度、界面、气孔等要严格控制, 以达到质量稳定和具有再现性; 3) 精确的尺寸和形状——精陶瓷件一般不经加工而直接使用, 特别是陶瓷电子器件更要求高的精度。

精陶瓷和普通陶瓷在成分上和制造工艺上都有很大差异。普通陶瓷经过原料配制、坯料成型和窑炉烧成三道工序制成, 而精陶瓷大多采用粉末烧结法制造, 以获得几乎无气孔的致密件。

现代精陶瓷中的绝对多数是以功能材料的身份应用于以下三个领域: 1) 信息系统, 如集成电路基板、电容、压电元件、电阻加热元件、传感器和光纤等; 2) 能源系统, 如热交换器、高效发动机部件、地热和磁流体发电等; 3) 生物系统, 如假牙、人工骨和人工关节等。

在航空和航天技术中使用精陶瓷的实例首推航天飞机的防热陶瓷瓦, 机身和机翼下面粘贴两万四千多片耐650~1260℃的高温陶瓷瓦, 机身侧面和机翼上面粘贴七千多片耐370~650℃的低温陶瓷瓦。它们是由氧化硅短纤维加入胶状氧化硅热压而成, 后期的航天飞机陶瓷瓦使用氧化硅和含硼混合纤维。

最近美国Arco公司把碳化硅和含硼硅陶瓷晶须用于复合铝合金板, 制成了性能相当于钛, 而重量为其40%的新型复合材料, 准备用于导弹和飞机部件。 (下转第38页)



图7 断口夹杂放大

从上述检查分析说明,故障胶圈不仅外观质量不符合化工部 HG6-409—79 技术标准要求,而且从断口分析可看出,小坑与基体有明显的分界面,它几乎成了独立的一块;同时断裂特征表明它的塑性较基体低,这说明很可能是由于胶料贮存时间较长,产生了半硫化或已硫化的胶疙瘩。这些胶疙瘩独立夹杂于胶料中,在硫化过程中它们不能与混炼胶硫化交联成为一体。所以,由于胶圈断口处内分模面上有小坑和胶疙瘩的存在,使该处成了胶圈的薄弱环节,在外力作用下此处就成了断裂源,特别是在较薄弱的A边变形是强烈的,以致首先产生裂纹。当裂纹产生后,就沿胶疙瘩界面延伸扩展,导致胶圈断裂。

### 三、结 论

引起6725016胶圈断裂的原因是:由于漏检,未能发现胶圈外观缺陷,再加上胶料贮存时间较长,产生了半硫化或已硫化的胶疙瘩,当它们集中于某一处时,使该处强度、延伸率降低,受外力时,最薄弱处首先产生裂纹。这样由于应力集中效应,裂纹扩展,致使胶圈断裂。

### 四、几点看法

1.我厂曾经将该零件由5260胶改用5080胶,后难于装配和装配时易断裂,又更改成

5260胶料。从对几次胶圈故障原因分析可看出,胶圈的断裂都是同它本身的质量、生产工艺等因素有关,而同5260这种胶种关系不大。另外,无论前几次或这次故障,排故更换胶圈后,使用良好,未发现问题。所以,不另选胶种,只要加强材质控制,严格工艺纪律,重视文明生产,是完全可以避免事故发生的。

2.胶料标准 HG6-407—79 的第一条技术要求是这样写的:“胶料应混炼均匀,不允许有配合剂混炼不均匀现象、胶疙瘩及大于0.15毫米的杂质”。从几次故障来看,在这条中增加混炼均匀程度和杂质数量多少的标准以及建立检查均匀程度、胶疙瘩、杂质的方法是值得考虑的,是非常有益的。

3.对于保管期较长及超期胶料的使用,要慎重对待,除进行一般理化性能测试和工艺性能试验外,还应进行成品件理化性能测试,当然,如能建立检查胶件内部缺陷的方法,则更好。

∞ ∞ ∞ ∞

(上接第32页)

在未来的高超音速飞机上,座舱透明材料的弱点更为明显,层压聚碳酸酯的热稳定性局限于200℃,因此采用透明陶瓷或透明陶瓷复合材料的可能性越来越大。此外,具有光开关性的PLZT〔Pb,La(Ti,Zr)O<sub>3</sub>〕型透明陶瓷对于防止核爆炸辐射有积极的意义,也是一种座舱候选材料。

综合以上所述,功能材料在航空中的地位越来越为重要,应引起我们充分的重视。

(参考资料略)

