

# 2016 年度国外航空材料技术重大进展

■ 文 / 胡燕萍 (中国航空工业发展研究中心)

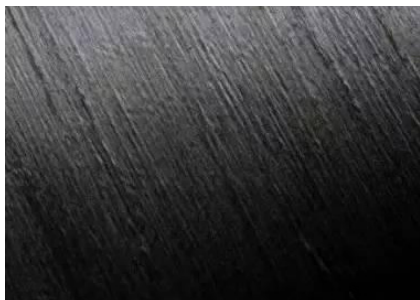
2016 年, 国外航空材料技术继续保持快速发展的势头。总的来看, 航空材料继续向高温化、智能化、微纳化和可设计化方向发展, 在先进复合材料、高性能金属结构材料、特种功能材料、电子信息材料等领域取得多项重要进展。

## 一、先进复合材料

先进复合材料向耐高温、智能化方向发展, 碳纤维、陶瓷基复合材料和树脂基复合材料是其发展重点。

**日本研发出速度快 10 倍的碳纤维量产新工艺。**1 月, 由日本东丽、帝人、三菱丽阳和东京大学等组成的研究团队开发出在高温环境下不易熔化的丙烯纤维原料, 无需再进行防止熔化的准备工序, 采用电磁波照射纤维直接加热替代传统熔炉加热工艺, 使碳纤维生产速度提高 10 倍。此外, 新工艺还可使生产过程中的能源消耗和二氧化碳排放减半。

**陶瓷复合材料正革新航空发动机工作效率。**8 月, 美国航空航天局 (NASA) 表示, 在“革命性航空概念”

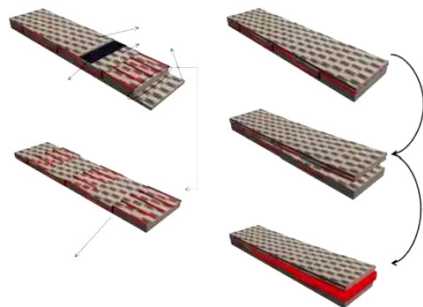


碳纤维是国防工业关键原材料

项目支持下, 研究人员正研究陶瓷基复合材料和防护涂层, 替代目前在航空发动机中应用的镍基高温合金。此外, 日本三菱重工与宇部兴产株式会社、标盾公司等, 也将于 2017 年度试制陶瓷基复合材料飞机发动机用高压涡轮叶片。

**超低温自修复复合材料研究实现零突破, 可变形复合材料有望制造跨疆域无人机。**9 月, 美研究人员首次发现一种可在低于冰点的超低温下发现材料裂纹自修复的新型复合材料, 可用于飞行器或卫星等的纤维增强材料部件, 实现部件在轨维修。零下 60℃ 条件下, 其自修复效率在玻璃纤维增强材料中达到 100%。此外, 美国

康奈尔大学研制出一种兼具自组装和自修复特性的可变形复合材料, 美国空军打算利用该材料制备小型跨疆域无人机的变形机翼, 使无人机在从空中进入海洋时自动缩短机翼, 减少机翼断裂情况。



超低温复合材料界面结构和损伤—撕裂—修复过程

## 二、高性能金属结构材料

高性能金属结构材料向轻量化、复合化方向发展, 轻质耐高温金属和金属纳米复合材料是其发展重点。

**计算材料技术将在发动机轻质合金材料部件优化中发挥重要作用。**5 月, 美国轻质材料制造创新研究所启动了钛合金和铝锂合金项目, 旨在通

过改进计算模型,更好地预测发动机材料性能。钛合金项目由通用电气航空集团和俄亥俄州立大学牵头;铝锂合金项目由联合技术研究中心牵头。

**新型铝锂合金为F-35减重降低成本。**洛马公司与IBC先进合金公司等合作,开发出新型铝锂合金“Beralcast”,使用专门的铸造工艺替代传统的粉末冶金,打破了该材料一直以来只能粉末加工的状况,实现F-35光电瞄准系统万向外壳近净成形,预计将使制造成本节省30%~40%,并显著缩短制造周期。



新型铝锂合金用于F-35光电瞄准系统万向外壳部件

**新型铸铁材料使航空柴油发动机性能大大改善。**1月,美国工程推进系统公司(EPS)通过采用强度更高的“紧密石墨铸铁”设计出紧凑、轻质、坚固耐用的航空柴油发动机。该材料通过加入紧密的石墨颗粒对在铁基体中实现互锁,提高了强度和抗破裂性能,与普通灰口铁和铝合金相比,抗拉强度提高75%以上,硬度提高45%,疲劳强度增长近一倍。

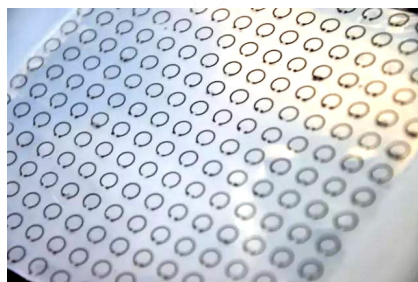


EPS将在Graflight发动机中应用新型铸铁材料

### 三、特种功能材料

特种功能材料向可设计性、微纳化、多功能化方向发展,新型隐身材料、高温防护材料及除冰、除污、防腐等功能材料是其发展重点。

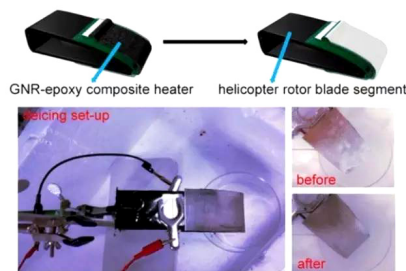
**宽频可调雷达吸波超材料有望助力下一代隐身战机。**2月,美国爱荷华州立大学利用液态镓锡合金替代固态金属制造超材料内部结构单元——开口谐振环,研发出一种新型柔性隐身超材料。该材料吸波频段8~11吉赫且连续可调,可将雷达截面积衰减40~60分贝,比现役装备的雷达吸波材料提高100倍,为宽频可调吸波材料研究开辟了全新技术途径,有望大幅提高隐身性能。



美国爱荷华州立大学开发的新型柔性、可伸缩、频段可调的隐身超材料

**新型防冰材料除冰温度再创新低。**5月,在美国空军研究实验室等资助下,美国赖斯大学通过撕开碳纳米管,发明了高导电石墨烯薄条带的商业化生产工艺,并利用该工艺制备了具有导电性能的复合材料,可帮助雷达罩和玻璃除冰。直升机旋翼桨叶的涂覆试验表明,在-20℃时,叶片上形成的冰厚约1厘米,只需将0.5瓦每平方厘米功率密度的小电压作用于覆层,就能使热传导到表面融化冰。该覆层可为航空器、输电线路和其他表面有效提供实时除冰,比目前在机场使用的二元醇化学品更环保。此

外,美国休斯顿大学在11月开发出一种具有“磁性光滑表面”的新材料,在-34℃下可有效防冰,可用于任意表面防冰,未来有望大幅提升航空器和能源设施的防冰性能。



碳纳米管条带制成的除冰涂层在零下20℃下实验成功

**高温陶瓷和超高温陶瓷材料耐热能力不断打破记录。**8月,俄罗斯研究人员开发出一种基于碳化硅和二硼化锆的陶瓷混合物所构成的多层陶瓷结构材料,预计能够耐受3000℃的极端温度的考验,可用于提升喷气发动机燃烧室的温度,还能在空间飞行器再入大气层时起到隔热作用,或者用于制造测量发动机温度的传感器保护罩。12月,英帝国理工大学发现碳化钽和碳化铪材料组成的化合物(80%钽和20%铪)熔点可达到3905℃,其潜在应用包括为下一代超声速飞行器提供热防护板,为核反应堆提供燃料包壳等。

**涂层材料具备自清洁、抗反射、防微生物多功能。**9月,西班牙开发出一种能防微生物附着、自清洁且抗反射的涂层。该涂层的相分离性能可显著降低微生物粘附,自清洁则是将具有疏水性能的无机硅纳米粒子喷涂在丙烯酸涂层上获得的,形成的超疏水表面还具备很好的强度和韧性。抗反射性能是通过引入多孔结构,使涂层的有效反射率低于基材实现的;同时,为了降低孔结构对涂层机械性能

的影响,研究人员确定了最佳的孔隙率范围。目前该多功能涂层的研究仍在早期实验室研究阶段,距离实际应用还较远。

**新的碳热沉材料升级美国空军刹车和轮胎。**8月,美国联合技术公司开始为美国空军475架F-15战斗机提供首批新的轮胎和刹车。新碳刹车采用DURACARB专利碳热沉材料,比目前的刹车寿命长4倍;新的轮胎采用无螺栓锁环设计,大幅降低维修时间和成本,并减少部件数量。

#### 四、电子信息功能材料

电子信息功能材料向低尺度、小型化方向发展,氮化镓半导体材料和镓液态金属合金是其发展重点。

**二维氮化镓半导体材料实现超宽带隙。**8月,美国宾夕法尼亚州立大学材料科学家采用石墨烯封装的方法,利用迁移增强封装生长技术,将镓原子添加到两层石墨烯之间,然后加入氮气引发化学反应,生成封装在石墨烯中的超薄片层氮化镓,首次合成二维氮化镓材料。这种材料具有优

异电子性能和强度,将对电子行业产生变革性影响。其二维的扁平化结构使得氮化镓变成超宽带隙半导体,具备更高的增压性能;表面的石墨烯则会提升材料全光谱下的工作性能;而且,材料制备过程也改变了其晶体结构,使其具有新的电子学应用前景。

**镓液态金属合金的研究有望革新美国空军的集成电子电路系统及天线的效率。**5月,美国空军披露其正在进行的镓液态金属合金GaLMA传统射频电子研究。镓液态金属合金GaLMA由液态金属、镓及其他导电金属组成,具有轻质、构型可变的特点,对于尺寸、重量和功率受限的平台有重要意义,可延长飞行时间、提高负载能力、减少飞机传统射频结构造成的空气动力学阻力。该项技术不仅可用于通信,还可用于情报、监视与侦察。

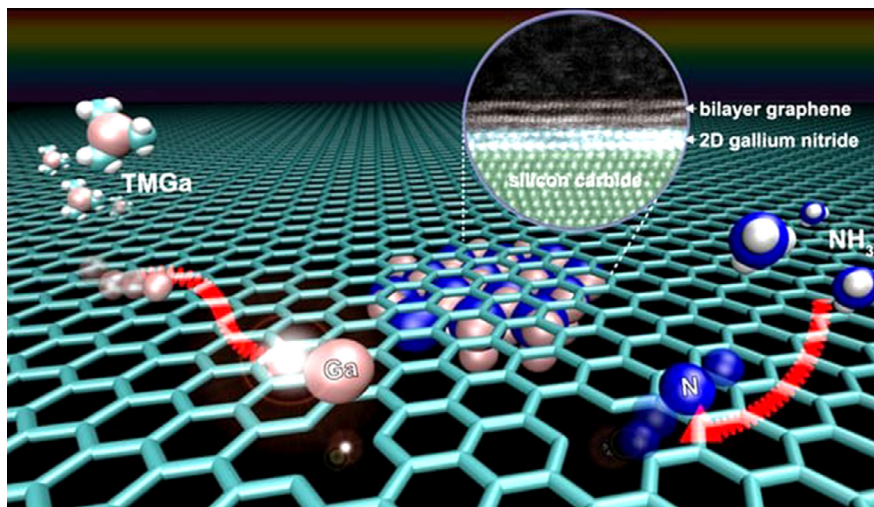
**日本首次开发出室温条件下透明强磁性材料。**10月,日本研究人员开发出一种透明强磁性纳米颗粒薄膜材料,由纳米级磁性金属颗粒铁钴合金和绝缘物质氟化铝混合制成,有望用于在航空器挡风玻璃上直接显示油

量、地图等信息的新一代透明磁性设备,为包括电、磁及光学设备在内的产业带来革新性的技术发展。

**Kymeta公司超材料天线已应用于美国军方。**3月,Kymeta公司表示该公司的mTenna超材料天线已进入军工市场。mTenna天线能够自动校准,在飞行中调整对电磁波的接收,其制造工艺类似于液晶显示器或智能手机玻璃屏幕,成本仅为1.5万~2.5万美元,显著低于相控阵天线。此外,该天线仅消耗10瓦的功率,收发合置,重约18千克,可单人携带。



利用外延石墨烯封装合成二维氮化镓



利用外延石墨烯封装合成二维氮化镓

#### 五、结束语

2016年,碳纤维、铍铝合金、陶瓷耐热材料等关键材料技术领域不断突破技术瓶颈,性能大幅提升;镓液态金属合金、超材料、石墨烯等前沿材料技术也加快原理验证和应用研究步伐,快速走向工程应用。展望2017年,国外航空材料技术将继续保持飞速发展的势头,不断推陈出新,为航空武器装备提供更有力的支撑。**科技**