

高性能复合材料的发展

六二八所 毛镇夷

60年代初出现的高性能复合材料极大地丰富了材料科学领域,对国防建设、空间技术和国民经济重要部门,尤其是对高技术密集的航空航天领域有着重大和深远的影响。经过二十多年的发展,复合材料已成为促进航空航天产品迅速发展的主要结构材料,推动着整个宇航工业自1920年轻质铝合金出现以来的材料面貌、设计概念和生产方法发生巨大变化。它在体育、娱乐用品和纺织机械活动部件上的应用,使人们进一步认识到它的巨大潜力。随着制造技术等方面不断改进,成本降低,复合材料的应用范围将从航空航天逐步扩大到汽车、重型设备、机器人、建筑业、桥梁等各个领域,对国民经济将起到日益重要的作用。

科学技术进展

高性能复合材料在60年代成功地经历了从实验室研究转向结构材料工业的考验以来,发展速度大大超过了许多其他材料。复合材料的科学技术是确保其工业具有竞争能力的基础。近十年来,这方面已取得了很大的进展。

增强纤维

在复合材料中主要承载的增强纤维获得了迅速发展,其中丙烯腈基碳纤维的拉伸强度和弹性模量已由 160×10^3 磅/英寸²* 和 20×10^6 磅/英寸² 提高到 350×10^3 磅/英寸² 和 55×10^6 磅/英寸², 并已向 800×10^3 磅/英寸² 和 $60 \sim 65 \times 10^6$ 磅/英寸² 的目标发展。美国和日本都开发了廉价的沥青基碳纤维,年产量已达250吨,目前正在建设年产量达500吨的工厂。美国用碳单丝作芯制成了硼/碳和碳化硅/碳等复合纤维,若产量达到一定水平,可望价格大大低于现有硼纤维和碳化硅纤维的价格。用泰氟隆制造的碳纤维在空气中的使用温度可达1700℃(丙烯腈基碳纤维仅为316℃),引起了人们

的注目。近几年都在探索比现有纤维强度高1~2倍的有机纤维。根据当前的专利工作表明,这方面的突破有可能出自日本这样的国家。

基体材料

在复合材料中用来粘结增强纤维的基体材料,目前广泛应用的主要是热固性环氧树脂。但它的使用温度不超过150℃,对湿度敏感且韧性低,远不能满足各方面的要求。近年开展了环氧的改性研究,同时探索了湿度敏感性低、韧性好、使用温度高和耐溶剂并可采用经济和高速度生产方法的热塑性树脂,其中聚芳硫醚(PAS)和聚醚醚酮改性体可望得到应用。近年成功地研制了各种可在200~370℃温度下使用的聚酰亚胺基体材料,推进了复合材料在发动机上的应用研究,各种碳/聚酰亚胺的发动机零部件已经或正在设计、制造和试验,以证实它的优越性。

三维编织技术

三维编织技术是近年来的重大成果之一。它的出现,将改变现有复合材料只适用于三维性能要求不高的应用现状。由于这种工艺技术可以制成多向增强的整体交织件,中间没有可能导致分层破坏的层间平面,因此不仅大大提高了全厚度的强度,同时也改善了对抗冲击具有重要作用的弯剪和弯曲强度,可以满足许多应力谱的要求。它还是一种经济效益很高的方法,与手工铺叠的层合工艺相比,制品可以便宜50~80%。因此,这种工艺可用来制造价廉而安全可靠的构件。它的生产装备是目前唯一能使复合材料具有三维强度的高级编织系统。它可按不同要求制造管件、槽形件、工字梁、空心盒形梁等各种整体几何图形的异型预制品。制造时可采用碳、芳纶、玻璃纤维预浸纱直接编织,也可在编织后浸渍树脂。这项技

* $1 \text{ 磅/英寸}^2 (1 \text{ lbf/in}^2) = 6894.76 \text{ 帕(Pa)}$ 。

术最早是法国研制成功的，目前美、法已联合进行开发。预计三维编织工艺将大大改善阻碍复合材料广泛使用的现状，并可为复合材料开拓极其广阔的市场。

制造技术

国外从70年代初就着手改变复合材料手工式的生产面貌和克服成本高、质量不稳定两大问题，大力发展机械化和自动化。经过几年的发展，建立了第一代工厂，大大改变了航空航天复合材料部件的生产方式和降低了成本。但现有的机器只能适用于最简单的设计，在复合工艺方面手工劳动仍占相当的比重。随着复合材料的应用日益增长和制件要求逐步提高，科技工程人员越来越深刻地认识到制造技术对复合材料产品性能的影响比金属大得多，许多制造厂商开始不满足于现有的制造水平，认为需要利用更先进的自动化技术才能大幅度地降低成本，获得最佳性能和彻底改变制造技术大大落后于金属材料的现状。因此，近十年来，欧美各国积极发展本国的制造能力，大力改进生产方法，发展自动化技术和加强质量控制。某些宇航公司约有1/3的研究工作是针对降低复合材料部件成本的，其中自动化是重点。目前，世界航空航天工业各大厂商都在关心和研究筹建整个制造操作过程实现全部自动化问题。某些制造厂商已开始计划或筹建以计算机为主体的第二代工厂，生产技术将由自动化向柔性化发展，即可适应原材料或几何形状变化很大的构件的生产。在柔性生产过程中采用闭环控制系统连续测定所用原材料的性能，通过校正它们的工艺参数进行补偿，确定实时工艺改进，使制造数据库不断适应新的要求。这样所得到的信息就能自动地用于同类部件的加工，并有效地进行工艺检验和质量控制，生产出质量最佳的复合材料部件而无需进行最终产品检验。另外，复合材料部件在制造和使用过程中，还可能产生缺陷和损伤。为了充分利用原部件，国外很重视修补技术的研究。美国早在70年代初就开始进行修补技术的研究。可否修补取决于

损伤程度，同时也取决于损伤部位和部件的受力状态。经验认为，直径20~30毫米的分层，压缩疲劳载荷应变不大于400微米时，可不修补。这方面技术在不断完善中。

面临技术竞争

高性能复合材料是各国材料开发政策中的尖端技术之一。许多国家投入了较大的力量，建立了不同规模的技术队伍，竞相发展。

美国是最早进行复合材料可行性研究并取得很大成就的国家，从事复合材料研究的部门除了政府和军队系统，以及各大公司所属的研究单位以外，还有30所大学，其中2所大学设有专门从事复合材料多学科研究的机构，研究工作侧重于力学和分析方面。目前美国开发复合材料的重点是在基础研究、化学、材料工程及应用方面。美国在芳纶纤维开发方面占有优势，在发展具有较好性能的其他有机纤维上也达到了相当水平。估计芳纶纤维在欧洲和日本也会很快达到商品化。

英国与日本是同时研制成碳纤维并较早开发复合材料的国家。英国皇家航空研究院对发展复合材料负有重要使命。英国从事研究复合材料的研究所、工业公司和大学共有29家，其中正在执行重大发展计划和对复合材料未来发展很有潜力的单位共11家。他们很重视材料行为、微观组织和物理方面研究。近年来在军用机上的应用正在逐渐扩大，开始成为美国的竞争对手。

日本在碳纤维技术方面发展迅速。开始主要用于文体用品和民用工业，但近几年也极其重视航空航天工业方面的应用，预言在90年代使之成为带头工业。日本从1983年开始发展第三代纤维，计划在五年之内达到实际应用。

联邦德国在复合材料技术方面也在迅速发展，新成立了从事聚合物科学和工程研究的马克斯·普兰克研究院。

一些研究动向

高性能复合材料技术的发展速度大大超过了材料结构和性能的基础研究。尽管复合材料

技术是十分先进的，但对它的认识明显地落后于对金属材料。因此，必需加强这个领域的研究工作，为推动复合材料向前发展提供坚实的科学基础。

当前需要很好了解 复合材料 结构-特性的关系、动态条件下纤维疲劳的原因、纤维微观结构导致破坏的原因以及纤维分子结构和宏观结构对复合材料性能的影响。需要研究热固性基体的加工方法,以确定纤维与固化树脂间的相互作用。对热塑性基体需要在分子和表面形态级上进行研究,以便找出可以减小高温加载下热塑性基体趋向蠕变的方法。

需要大量研究纤维-基体界面的基本原理。对于寿命预测、可靠性和试验等问题也有待在分子范围内加以说明和认识。还需要加强对破坏机理的认识,在基础研究的基础上研究连接技术和修理工艺。复合材料成分的毒性、长期环境影响和重复使用性也应在研制阶段就着手进行解决,以便为以后制造和使用这些材料提供依据。

2000年展望

以重量和性能要求占主要地位的军用飞机和航天器的发展需要是开发复合材料的基本推动力,在民用机上的扩大应用是进一步的推动力。据预测,至1995年,复合材料市场要求的增长仍将来自航空航天领域。目前铝-锂合金和快速凝固技术、粉末铝合金等技术已达到或正在达到预期的目的,可能延缓复合材料的应用速度。但复合材料的气动弹性剪裁特性可使战斗机的机动性提高一倍左右,复合材料旋翼寿命达10000小时,某些复合材料的吸波特性可为飞机的隐身技术作出新的贡献。这是金属材料无可比拟的。据分析,未来飞机结构基于载荷强度的不同要求、M数效应(温度)、飞机维修和发动机(防火灾和污染)等方面的需要,不可避免地将以金属和非金属(包括树脂基复合材料)混合使用的方式出现。预计1990年至2000年复合材料在战斗机上的应用可占结构重量的35~50%,在亚音速民用机上将占7~32%。

(某些飞机制造厂商估计可占50%)。由此可见,复合材料将改变航空工业传统铝合金结构的主导地位并有可能使飞机结构出现根本性的变化。

结语

纵观国外的发展动向,不难发现某些特点:首先,继续致力于复合材料生产技术由自动化向柔性化发展;同时,注意充分利用现有设备条件,相应改进部件的设计,以利重复生产;尽可能完善组织管理和质控系统,降低成本,提高效益。其次,重视新型基体和辅助材料的开发。第三,在基础研究方面加强学科之间(包括化学、物理学、机械工程和材料科学)的相互联系和合作,加强材料、设计、制造部门之间的横向联合。第四,注意培养人才。目前美国已感到人才不足并认为随着复合材料技术的发展,问题更加突出;尤其需要培养具有多学科知识结构的人才。

(参考资料从略)

× × × ×

飞机起落架用 β 粉末钛合金

据报道,采用高强度 β 粉末钛合金制造飞机起落架在减轻起落架重量、降低成本和耐腐蚀性方面比通常所用的典型低合金钢优越得多。曾评价了三种 β 粉末钛合金: $\text{Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn}$ 、 Ti-10V-2Fe-3Al 和 Ti-10Mo-8V-2.5Al 。试验是在热等静压和热处理状态进行的。试验的参数有热等静压温度、固溶处理温度和时效处理条件。结果证明, Ti-10V-2Fe-3Al 合金用来制造飞机起落架的潜力最大。还测定了 β 粉末钛合金的抗拉强度和疲劳韧性,并与普通起落架合金VAR4340进行了比较。

(卢忠发摘自Metal Powder Report, 1986, July)