

国外技术报道

国外复合材料及其检测技术的发展

戴祖明

(航空航天部八一〇所)

1988年12月航空航天部技术考察团去美国访问了三个大学、二个公司和NASA的一个研究中心。本文重点介绍所考察的单位在复合材料方面的研究动态及超声无损探伤技术的发展新动向。

一、复合材料研究动态

1. 新颖复合材料的研究

当前美国的学校与科研单位研究重点是金属基和陶瓷基复合材料。德拉华大学复合材料试验室是国家材料研究试验中心,从78年开始研究金属基复合材料,如Al + SiC晶须, Mg + C纤维等材料。普度大学宇航学院为空军研究了钛基C纤维复合材料及铝合金中间夹Kev. 纤维层压板的结构材料。NASA Langley 研究中心展示了硼铝与钛用扩散焊连接的蜂窝结构。陶瓷基复合材料由于保密原因不作介绍,故了解甚少,只在费城Drexel大学材料系看到用粉末冶金方法制成的SiC/Si₃N₄材料样品,并介绍可用三向编织方法制作SiC/SiC复合材料。

与此同时,美国仍未放弃对树脂基复合材料的研究,趋向于应用聚酰亚胺、双马来酰亚胺等耐高温树脂及热塑性聚苯硫醚(PPS)及聚醚醚酮(PEEK)树脂。增强材料除Kev.及高强高模C纤维外,杜邦公司还研制成了一种新的透明状纤维,性能未作介绍。

2. 结构设计的新概念

普度大学宇航学院的孙敬德教授给我们介绍了复合材料结构设计的新观念,即用精心“剪裁”方法来解决复合材料的综合性能(Intelligent tailoring of fiber composite and laminates)。因为由纤维和基体组成的复合材料是一个综合系统,不能单从材料的高强或高模量着眼,高强或高模量纤维在结构某些部位往往产生高应力集中或高边界应力,必须从整个结构宏观的去解决材料的应用研究,即材料设计与结构设计二者统一考虑,使之最大限度发挥其效能,也就是材料的优化设计,这一点只有复合材料能作到。他举了一些例子,如C纤维层压板在铺层时加上玻璃纤维,可大幅度降低边缘应力,从而大大提高其承载能力。中间

本文1989年11月15日收到

带孔的层压板结构,在孔周围以玻璃纤维代替C纤维,可降低应力集中。这一新观念对我们有一定启发。

3. 测试与成型工艺技术的进展

美国在复合材料方面的研究范围很广,除材料本身外,还在基础理论,包括断裂和疲劳破坏机理,二维与三维力学分析计算机软件以及微观结构进行研究。对测试和工艺的研究也十分重视。在测试方面除高温(至1200℃)及低温的力学性能试验,冲击、疲劳、光弹性等试验设备外,还有用高速弹射方法研究复合材料断裂特性,用高倍扫描电镜研究复合材料界面效应等,他们认为界面问题是复合材料的关键。

在成型工艺上除模压、喷塑注模、缠绕外,还有超声焊、电加工,最使人感兴趣的是薄带制环的设备上用激光加温固化,缠绕结束就成了制品。在Drexel大学见到了由复合材料编织成型的各种样品,包括不同型面的带子、管子、十字及工字形结构、汽轮机叶片、带封头的容器、赛车的车体以及医学上用的人造关节、血管等。上述编织成型是在计算机上先进行设计,编制程序,然后进行验证评价,再在多轴编织机上用计算机控制进行缠绕成型,增强材料有C纤维, Kev纤维, 玻璃纤维, 尼龙及最新研制出的一种白色透明纤维。

4. 应用情况

所考察的几个研究单位主要接受 NASA、国防部及大公司提出的任务,包括民用部门提出的一些任务,所以应用范围十分广泛。航天飞机上已采用了三种复合材料制造的蜂窝结构,使重量减轻了30~40%。金属基复合材料已在航空发动机的叶片和转子等部件上得到应用。陶瓷基复合材料据介绍亦已在军事上得到应用。复合材料在固体发动机上已广泛应用。树脂基复合材料则在民用部门越来越得到广泛使用。

二、无损检测技术的发展

1. 复合材料无损检测的重要性

由于复合材料的各向异性和工艺条件很难完全一致,造成了制品质量的离散性较大,抽检样品往往不能代表该批制成品的整体质量水平。为使所有制成品的破损数据都在设计要求之上,往往取过于保守的安全系数,这将使成本增加,在一些特定场合尤其军事应用上,由于重量或尺寸的增加,会在实际上失去其使用价值。因此,在不损害制品条件下检验其质量水平的无损检测方法,对于复合材料而言就显得特别重要。

有多种无损检测方法已在金属材料上得到应用,如射线、声发射、涡流技术等,但对复合材料来说有的方法不一定得到满意的效果,而超声无损检测则较为有效和方便。超声波具有穿透力强,灵敏度高,方向性好,对人体无害等优点,国外在这方面发展很快,已实现同计算机配合使用,达到快速自动扫描、信息分析处理和图象显示,使得这一技术得到新的发展。

2. 复合材料的缺陷形式及检测方法

复合材料的缺陷大致可分成两大类:

(1) 整体性的或叫做微观的、隐蔽性的缺陷,如疏松、微裂纹、树脂过多或过少,环境影响造成的性能下降等;

(2) 局部性的或叫做宏观性、暴露性的缺陷,如气泡、分层、夹杂、裂纹等。

对于胶接结构复合材料，则有气孔、脱粘、夹杂以及胶层粘接强度低等缺陷。

局部性的缺陷（气泡、分层、夹杂、裂纹等）可用一定波长的垂直纵波或脉冲回波、穿透法等进行超声探伤，一般采用常喷射器的探头，由反射信号的频率及振幅的变化来判断。

整体性的缺陷（疏松、微裂纹、树脂过多或过少等）就得用超声测速或信号衰减变化来判断，由于其变化值小，需要用高分辨率的探头。

美国Rose, J.L.等人对超声探伤作了大量研究工作，认为用斜超声波或定向波比直波可以获得更多的信息，从而对复合材料不同形式的缺陷作出更有效的判断。提出用反射波、剪切波、临界角、背面接收等技术可较好地检测局部性缺陷；用纵向波、平面波、表面波等检测整体性缺陷较有效。

3. 超声特征图象显示技术

美国Drexel大学机械工程系无损探伤实验室采用超声特征图象显示技术检测复合材料缺陷，其原理图如图1所示。由探头搜集到的超声波信息经过计算机系统加以处理分析，然后由图象显示及打印出来，经过扫描可把每个部位的缺陷加以鉴别。特征图象由下面四个步骤形成：

- (1) 建立缺陷的标准样件，并预示特征值的变化情况；
- (2) 对试件进行检测，包括数据采集及分析处理；
- (3) 将试件同标准样件特征值进行比较；
- (4) 采用计算机软件作图象显示。

利用这一系统可以极快地确定缺陷的位置、大小、形状及缺陷类别，甚至还可以检测各种胶接结构的强度。采用高聚焦频宽为0.025mm的高频超声探头，对胶接结构可以分别取得30~38 MHz和22~30MHz下的振型面积值，由于粘结强度差的试品对大于30MHz波十分敏感，所以可以由二者面积比值定量地来判断其粘结强度，甚至还可运用计算机信号处理技术作出不同颜色的彩色图象显示。如果采用斜向平面波对粘结强度的检测可得到更好效果，因为可以获得更多信息量，通过调整入射角可对不同材料胶接性能作出高灵敏度的检测（图2）。

4. 超声无损探伤应用情况

国外超声无损探伤技术不仅用于检测制成品的质量情况，而且在生产过程上得到应用，从而把问题暴露在制造过程中，达到更有效地控制质量，避免不必要的浪费。如在高硅氧布

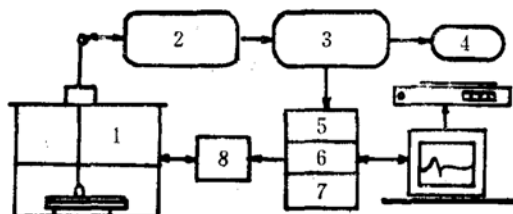


图1 特征图象显示装置原理图

- 1.检测箱 2.缺陷检测仪 3.A/D转换器
4.显示器 5.微处理机 6.计算机 7.外围设备 8.扫描控制

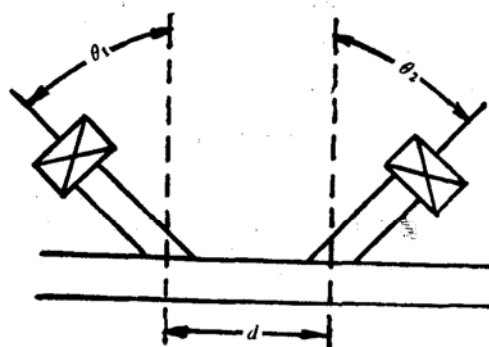


图2 用斜向平面波检测粘接强度

生产线上由超声探头进行检查,发现有缺陷即停止生产;层压板生产过程亦可由超声探头监控,对其厚度变化及内部缺陷进行检查。采用表面波或准表面波探头还可对缠绕件和模压件在生产过程中进行检测加上计算机后达到实时、快速、直观和有效地对生产质量进行监控。

结 束 语

通过短期的考察了解,美国在复合材料方面的研究重点已在金属基和陶瓷基材料,并已进入应用阶段,由于价格还比较昂贵,主要还用于军事及航天方面。美国不仅对材料本身,而且在工艺和测试上同时进行研究,不仅停留在宏观的研究,还在微观结构研究上下功夫。计算机不仅用在设计、应力分析,在制造和测试上全都配有计算机,作到了CAD/CAM/CAT一体化,保证了高质量的制品。

对于不同材料多界面的探伤问题也在进行研究,认为用斜入射波探头作超声探伤可以得到解决。国外利用声发射和微波技术对复合材料无损检测也进行大量研究。看到了在Instron材料试验上对复合材料试件加载,用声发射装置及高速摄影、音响系统再配上计算机对试件裂纹产生和扩展全过程进行记录和分析。

参考文献

- (1) PA 19104 USA: Advanced Composite Materials Research at Drexel University, Dec.1988.
- (2) Rose, J.L.: Ultrasonic NDE Potential in Composite Manufacturing, Sept.1988.
- (3) Rose, J.L.: Utility of Feature Mapping in Ultrasonic Non-destructive Evaluation, Nov. 1987.

动 态

法国欧洲动力装备公司为美国Erint-1 导弹 提供火箭发动机关键部件

法国欧洲动力装备公司(SEP)为美国延长射程拦截技术(Erint-1)导弹提供了固体火箭发动机关键性部件。这种导弹是一种灵敏的单级高超音速末段寻的导弹,是为战场导弹防御而研制的。

发动机外壳和尾喷管由SEP负责设计。发动机外壳采用石墨/环氧树脂复合材料,尾喷管用碳/碳材料制成。发动机和尾喷管的总长约为1.8m,固体火箭发动机位于Erint-1导弹的中央,排气直接通过尾喷管排出。

零部件运往美国进行推进剂装药,并由大西洋研究公司在盖恩斯维尔的设备上作最后组装和试验。

完成的发动机由美国LTV航空航天防御中心组装到Erint-1导弹上,该弹飞行鉴定预计在1991~1992年进行。

华永源译自《Aviation Week & Space Technology》, Jan.15, 1990