

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.12.028

国外塑料光纤传感器对智能型 SMA 板变形控制研究

唐平¹, 黄晓霞¹, 夏敏²

(1. 中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039; 2. 中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要: 对国外智能型形状记忆合金(SMA)板和塑料光纤(POF)传感器的设计过程进行了详细介绍,并用POF传感器对SMA蒙皮及碳纤维增强环氧树脂复合材料组成的金属纤维层压板(FML)的变形特性进行了测试。即通过一台光检测器监测POF传感器的输出,光检测器则连接到控制单元上。这种闭环式布置使操作者能够引入规定的梁设定点偏移值。控制单元一接通,即可得到智能型FML所需的偏移值,随后关闭,用POF硅加热器提供反馈信号,即可观察出SMA板的变形特性。

关键词: 形状记忆合金; 塑料光纤; 传感器; 智能装置; 纤维金属层压板; 变形特性

中图分类号: TB381 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)12-0122-03

Research on Foreign Technology of Plastic Optical Fiber Sensor Morphing Control for Intelligent Shape Memory Alloy Plate

Tang ping¹, Huang Xiaoxia¹, Xia Min²

(1. NO.59 Research Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China; 2. CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

Abstract: The design processes of intelligent shape memory alloy(SMA) plate and plastic optical fiber(POF) sensor were introduced. The morphing characteristics of fiber metal laminate (FML) made up of SMA skin and carbon fiber reinforced epoxy composite were tested via POF sensor. The output from the POF sensor was monitored using a photodetector which in turn was connected to a control unit. This closed-loop arrangement enabled the operator to introduce the prescribed set-point deflection values of the beam. The desired deflections of the smart FML were achieved by the control unit switching on, and subsequently switching off, the silicon heater used the POF to provide the feedback signal.

Keywords: shape memory alloy; plastic optical fiber; sensor; smart structure; fiber metal laminate; morphing characteristic

近年来,人们对飞机机翼和机翼的前后缘变形特点表现出越来越大的兴趣,以图在飞行过程中使空气动力形式得到显著改变。在传统的航空航天材料中,形状记忆合金(SMA)已得到广泛应用^[1-4]。如用于拉F14战斗机中液压管接头密封,SMA作为力学执行器和刚性执行器控制运动和形状,很象机器的肌肉^[5]。美国国防部和航空航天局研究的形状自适应结构和空气动力载荷控制,通过SMA致动器提高飞行器的机动性和升力。此项技术提高了飞机的生存能力并降低了阻力。

然而,应用SMA板材作为致动器,以及将其作为结构部件与高级复合材料相结合的报道很少。但有报道称,在嵌入式纤维增强复合材料中引入超弹性SMA丝(未致动),低速冲击条件下可减少主材的损伤^[6-7],但达不到致动的目的。国外提出将SMA薄板粘合到复合材料上形成预浸料坯,由此形成的材料系统称为智能型纤维金属层压板(FML)。与传统材料相比,它除了具有优越的结构特性外,还具备致动能力,同时显示出颇有吸引力的力学性能^[8-9]。

为了测试FML的致动能力,国外采用一种强度型塑料光纤(POF)传感器,这种传感器可有效监视和控制嵌有SMA的先进复合式自适应机翼的状态^[10-11]。

POF传感器附着在先进的复合梁主材表面,向控制器装置提供反馈信号,从而控制FML达到所需偏移必须具备的加热量,为使偏移达到更好的位置控制,将物理状态(即偏移)直接度量的梁作为反馈信号,这是温度控制单元默认的温度反馈信号。虽然SMA所处的温度与梁偏移有关,但由于SMA具有滞后性,这种关系表述出来并不容易。通过热电偶温度监控,可对SMA的物理反应提供一个间接测量值,而通过POF传感器监控偏移(或应变)本身,则给出直接而实时的物理反应,从而达到更精确的控制。

1 智能型 SMA 的研究

TiNi合金是SMA中用途最广的材料,是微机械驱动器的待选材料之一。要将TiNi SMA用于微机械系统,必须加

联系人:唐平,高级工程师

收稿日期:2013-10-28

工成很小尺寸。如果工艺控制得当,用轧制法可生产厚度在 $100\text{ }\mu\text{m}$ 以下的薄板^[1-2],用薄板设计制作致动器和机械驱动元件时,研究者常常会考虑它的各向异性及变形特性。为了测试该 SMA 板的变形特性,国外某大学在研究过程中使用一块 $400\text{ mm}\times 55\text{ mm}\times 0.8\text{ mm}$ 的 TiNi 合金板作为试样,并把试样卷成筒,然后在其内插入一根内径 120 mm 、厚 5 mm 、长 55 mm 的钢管^[8-9]。在 500°C 的预热炉中加热试样,将热电偶插入钢管和 SMA 试样板之间,以监控试样所承受的温度。将试样迅速升温,然后在水中淬火保持 2 min ,同时保持并限定在圆管里。循环处理三次,以确保应变得到明显的恢复。然后将碳纤维复合材料在 125°C 下固化 1 h ,再用环氧粘合剂粘贴到 TiNi 板材上。接着,通过一台薄硅加热器,用室温硫化粘合剂附着在板材表面,由此得到 FML。

2 POF 传感器的设计

利用 POF 制成的传感器具有石英光纤传感器所不具有的优势。POF 具有较大的直径,因此耦合比较容易。此外,POF 单位质量轻、抗化学药品腐蚀和力学性能好的优点使得其比石英光纤更适合作为传感器^[9]。

图 1 为某单位研发的 POF 传感器示意图。传感器采用两根直径 2.2 mm 的聚甲基丙烯酸甲酯阶跃型多态光纤,外加聚乙烯护套。为了便于测试,将每根光纤的外套长度约 20 mm 的测量部分拆开,将光纤裸露部分插入到玻璃管两端对齐。将 POF 传感器装到 FML 梁时,其标距长度为 80 mm 。

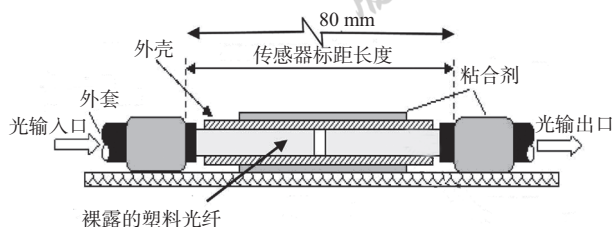


图 1 POF 传感器示意图

3 测试装置的设计与测试过程

3.1 测试装置与测试原理

图 2 为测试装置示意图。测试中所使用的硅橡胶加热器

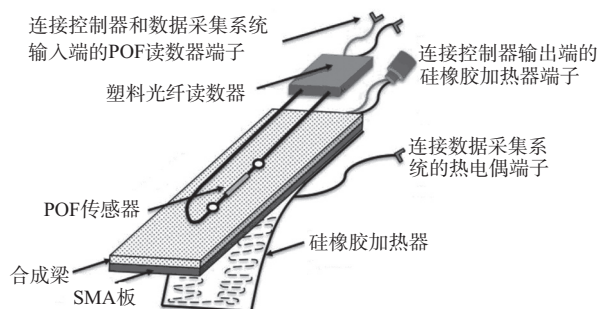


图 2 测试装置示意图

热器由一个以微处理器为主的温度控制器提供电源。控制器接上线,并进行配置,接受一个 K 型热电偶和一个 $0\sim 5\text{ V}$ (直流)POF 信号作为过程变量。这样,在控制器面板键上输入适当的参数即可进行操作。在试验过程中,将 POF 信号作为控制器的整个过程变量。控制器输出端口接上一台固态继电器,为硅橡胶加热器提供电能。最初,控制算法基于简单的开-关控制,后来引入了比例积分控制。

图 2 中,POF 传感器是连接到 FML 表面,在 SMA 激活过程中(SMA 卷曲到锻炼形状),传感器的两个光纤端彼此接近,使沿纤维发出的光量增大。由光源和光检测器组成的 POF 读数器监测 POF 的输出信号,其量级作为反馈信号中继并转发到控制单元,根据光纤的信号损耗,来达到对 FML 的应变能力进行主动控制。

3.2 测试过程

图 2 中控制器装置向智能型 FML 施加不同的偏移设置值。随着加热温度的升高,达到图 3 中 A 位置时,梁偏移超越了所需的反应量,POF 传感器此时强制关掉控制器单元电源,并切断加热器,温度迅速下降,加热器冷却,梁松弛、下移,并在约 50 s 后在位置 A 固定下来。随着加热器不断加热,温度超过约 25°C ,此时偏移过度,再次出现偏移前,温度和梁偏移度再次迅速增大,最终在位置 B 稳定下来。随后,将此时偏移位置输入到控制器输入面板,观察 SMA 反应,偏移值和最终恢复值处于位置 C。在位置 C 后的冷却阶段,将位置 A 的上述设定点输入控制器,并在约 200 s 后到达该位。然后进行第二组、第三组循环加热,以进一步确定其结果的准确性。从图 3 可以看出,智能型混合动力系统具有很高的可重复性,并在不同的加热/冷却循环中,可采用相同的设定点位置。例如,将位置 C 赋值三次,在每种情况下,梁都能以很高的精确度偏移 to 所需位置。

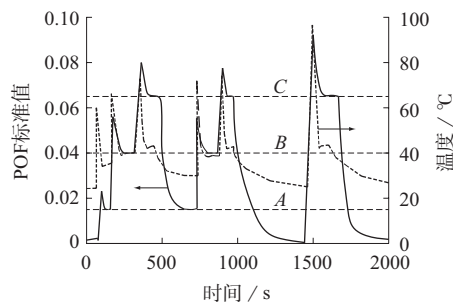


图 3 POF 传感器对 FML 可控性图形

国外研究表明,为了达到精确控制梁偏移量,与温度相比,利用偏移作为控制 SMA 致动的过程是极具吸引力的研究成果。为了减少或消除偏移,可以考虑引入比例-积分-微分 (PID) 控制,达到理想的稳定状态。

实际工程应用中,智能结构的 SMA 板可能会被施加某

种外部负载,如风抖振或冲击载荷等相关的负载。这种情况可以通过 POF 传感器可对其进行评估,如图 4 所示。随着负载扰动的引入,POF 传感器检测出梁偏移的变化,此时触发控制器单元启动加热垫,SMA 被激活,迫使梁回到其预定位置。在 120 s 后施加初始负载,使 POF 信号减小(梁被迫向下),约 10 s 后恢复到初始位置,220 s 时施加第二个负载,再次触发加热元件,使梁激活,然后恢复到预定位。

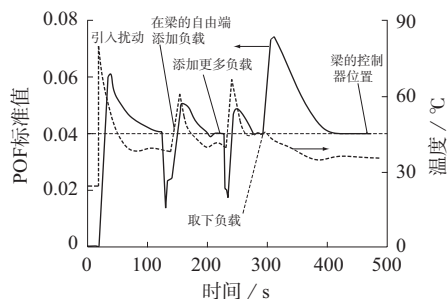


图 4 基于 POF 传感器信号的 SMA 梁自动修正反应图形

为了减少或消除偏移的可能性,一些研究者还引入了 PID 控制,通过循环加热,调整相关联的比例区的参数。为了获得与设定点和过程输入之间值差成正比的最佳加热器通断时间比。用试错法调整三个 PID 设定值,以达到快速控制和理想的稳定状态。图 5 显示了引入 PID 控制后的效果。通过对控制值采用合适的设置,可以消除较大的偏移量。然而,得到的结果却产生了较温和的振荡反应。

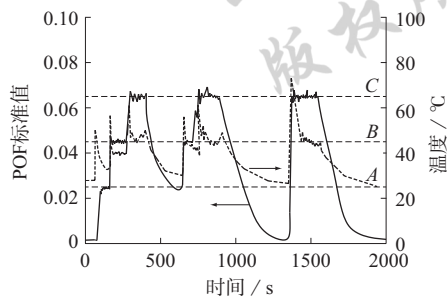


图 5 用 PID 控制的梁减少偏移量的反应图

4 结语

从国外对 TiNi SMA 混合层压板的分析研究知,POF 传感器可用于监控梁偏移,并将此信号用作控制器单元的反馈信号。用 POF 传感器信号可评估混合材料的自动校正能力。对控制器单元的 PID 进行的参数调整表明,在整个测试持续时间内,可以消除大的偏移量,以更好地控制梁的偏移。

参考文献

- [1] Loewy R G. Smart Materials and Structures, 1997, 6(5):R11-R42.
- [2] Hartl D J, et al. Journal of Aerospace Engineering, 2007, 221(4):535-552.
- [3] Kudva J. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2004, 15:261-267.
- [4] Sanders B, et al. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2004, 15:227-233.
- [5] 周志男. 搅拌摩擦加工制备 TiNi 颗粒增强 Al 基复合材料的研究 [D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2011.
Zhou Zhihan. The study of TiNi particles reinforced aluminum matrix composites prepared by friction stir processing [D]. Shenyang: Shenyang Aerospace University, 2011.
- [6] Meo M, et al. Composite Structures, 2013, 95:756-766.
- [7] Pappada S, et al. Polymer Composites, 2012(33):655-664.
- [8] 陈奕翀. 基于智能材料的微小步行机器人系统运用研究 [D]. 汕头: 汕头大学, 2004.
Chen Yichong. The research on the application of micro walking robot based on the smart materials [D]. Shantou: Shantou University, 2004.
- [9] 张海龙. 双锥形塑料光纤液体折射率传感器 [D]. 长春: 吉林大学, 2012.
Zhang Hailong. Liquid refractive index sensor based on biconical plastic optical fiber [D]. Changchun: Jilin University, 2012.
- [10] Balta J A, et al. Smart Materials and Structures, 2005, 14:457-465.
- [11] Mieloszyk M, et al. Smart Materials and Structures, 2011, 20 (12), doi:10.1088/0964-1726/20/12/125014.

非汽车领域对碳纤维复合塑料需求力度加大

近年来,随着汽车轻量化概念的深入人心,碳纤维复合塑料 (CFRP) 在汽车制造领域应用范围不断扩大。然而,CFRP 除了作为车用塑料外,其在航天航空、国防、运动休闲领域的需求力度也在不断加大。

据 Researchand Markets 公司预测,2013 年 CFRP 在以上三个领域中的消费量将分别达到 11 300 t、9 400 t 和 8 300 t。

数据显示,2012 年全球 CFRP 需求量为 67 000 t。Researchand Markets 在报告中称,至 2020 年,全球 CFRP 总需求有望突破 210 000 t。2012~2020 年期间,复合年增长

率将达 15.3%。

市值方面,2012 年 CFRP 全球总销售额为 102.5 亿美元,预计 2020 年将攀升至 252 亿美元。

CFRP 具有比强度高、耐高温、减振性好、耐疲劳性能优越等突出优点,是目前航空航天尖端科技领域发展较为成熟的先进复合材料。作为四大复合材料之一,CFRP 自问世以来很快在航空航天领域得以应用并成为该领域理想的材料。

报告指出,尽管 CFRP 质量轻便(等体积的 CFRP 车用塑料零部件仅为钢制车身的 1/5),然其成本造价较高。这将成为 CFRP 大批量市场开发的一个主要限制因素。

(中塑在线)