

磁流变液蒙皮柔性托架设计

Flexible Bracket Design Based on Magnetorheological Fluid

西 北 工 业 大 学 甘 忠 吕 源 蒲理华
成都飞机工业(集团)有限责任公司 袁 胜



甘 忠

西北工业大学机电学院副教授, 任职于现代设计与集成制造技术教育部重点实验室。从事航空宇航制造工程学科领域研究, 主要研究方向为钣金精密成形工艺、计算机辅助塑性成形、工装模具 CAD/CAE/CAM 和先进复合材料成形工艺技术等。

柔性夹具是指用同一夹具系统, 完成形状尺寸不同的多种工件装夹的装备。无论是对尺寸、形状相似, 还是加工零件的尺寸、形状完全不同的工件, 柔性夹具都具有能正确、可靠、快速地定位装夹功能^[1]。飞机蒙皮是包围在飞机骨架外的薄壁零件, 使用粘接剂或铆钉固定在飞机骨架

利用磁流变效应设计了一种柔性检测托架, 该柔性托架系统可以用于飞机蒙皮类零件的数字化检测。它的最大优点是利用磁流变液在零磁场下所具有的良好流动性可以模拟任意复杂曲面外形的零件, 并且简单、方便、快捷地解决了飞机蒙皮零件在检测中易变形的问题, 这是机械夹紧装置无法实现的, 为实现飞机制造的数字化控制打下了基础, 具有实际应用价值。

上, 主要功用是形成和维持飞机的气动外形, 承受局部气动载荷。机翼、机身蒙皮通常是具有自由曲面外形的薄壁壳体, 外形尺寸大, 刚度低。其传统检验方法是制造专用的检验型架, 在检验型架上安装蒙皮后, 使用塞尺测量检验架中的样板和蒙皮之间的间隙; 或者将蒙皮放在模胎上, 用轻敲法检查两者之间的贴合情况, 不仅费时费力, 而且检验效果还和工作人员的经验有相当大的关系, 不容易控制其精度。近年来, 激光检测为数字化测量提供了一种快速有效的高精度方法。但是根据力学原理, 由于受到重力作用, 零件局部无法满足力学平衡, 需要通过零件变形产生的内力来维持平衡, 因此进行激光检测时首先要实现薄壁零件的自由状态, 而要实

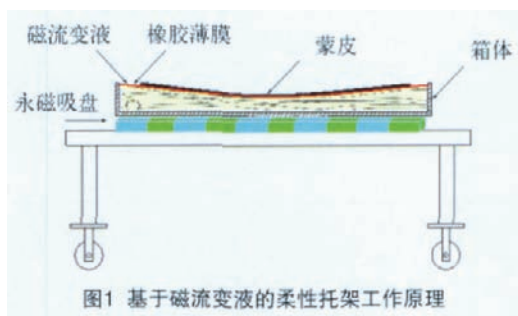
现其自由状态, 在托架的设计上必须避免采用以具有定位及夹紧机构为显著特征的机械夹紧装置。一条可行的解决途径是利用相变物质在一定条件下能够发生固液两相转变的物理特性, 在液态条件下安装零件, 然后改变相变物质所处的物理环境, 实现零件在固态条件下的形状保持和支撑。相变材料多种多样, 其中发展最快、应用最广泛的当属性能优异的磁流变液材料。

磁流变液 (Magnetorheological Fluid, MRF) 是一种具有良好发展前景和工程应用价值的新型智能材料。这种材料在外加磁场作用下, 会产生明显的磁流变效应: 在固体与液态之间进行毫秒级快速可逆转化, 其黏度保持连续无极变化, 可实现实时主

动控制,耗能极小^[2]。因其独特的性质,磁流变液成为设计柔性夹具的理想材料,本课题正是利用磁流变液设计了一种专门针对飞机蒙皮进行激光检测的柔性托架系统。

柔性托架的工作原理及特点

基于磁流变液相变技术的柔性托架的核心原理是磁流变效应,它是通过控制磁场的变化来实现的。本结构采用一组永磁吸盘为磁流变液提供磁场,因此储存磁流变液材料的托架箱体需使用导磁材料制作,且箱体底部应尽量薄,以免影响磁场对磁流变液的作用。零件是放置在一层极薄且具有良好柔韧性的橡胶膜上完成激光测量工作的。柔性托架的工作原理如图1所示。



在测量零件前,柔性托架内磁场为零,磁流变液表现出类似 Newton 流体行为,将零件放置在橡胶薄膜上,由于液体的流动性,磁流变液将迅速完全贴合零件表面。从力学方面来看,磁流变液会克服薄壁零件的重力作用,零件各处不再依靠局部变形产生的内力来维持力学平衡,因此,薄壁零件处于自由状态。待被检测零件稳定后,打开永磁吸盘开关,磁流变液迅速固化,此时磁流变液表现出 Bingham 类固体特性,零件被稳定夹紧,夹紧力作用面积大并且均匀。该柔性托架可以夹持厚度为 0.5~4mm,高度不超过 45mm,长宽尺寸最大为 600mm 的各种曲率的飞机蒙皮类零件(在保证零件外形尺寸不超过托架箱体尺寸的情况下,零件的

曲率大小不受限制),并且可以获得较为准确、可靠的零件数据。

该柔性托架具有以下显著优点:

- (1) 测量准备时间短,提高生产效率;
- (2) 使用范围广,可以在车间内使用;
- (3) 柔性托架成本低;
- (4) 无需辅助设备;
- (5) 可重复使用;
- (6) 方便清洁,无污染。

结构组成

柔性托架主要由支撑平台、永磁吸盘、托架箱体和磁流变液 4 部分组成。系统组成如图 2 所示。

1 支撑平台

支撑平台主要由车体和固定系统组成,可为激光检测提供一个可移动平台。支撑平台采用不锈钢材料制作,可以提高柔性托架的刚度、防止油液腐蚀,此外激光检测对工作平台平面度要求十分严格。平台四脚滑轮保证整体托架可自由移动。平台四角各布置一个可升降的支脚,旋紧后,可保证平台的整体稳定。

2 永磁吸盘

永磁吸盘是利用磁通的连续性及磁场的迭加原理设计的。采用永磁吸盘主要是利用永磁吸盘所产生的磁场作用于磁流变液,使磁流变液固化,从而实现蒙皮零件的夹紧和托持。柔性托架采用 2 块永磁吸盘为磁流变液提供磁场。其侧面有控制阀,通过扳手可以控制磁场大小。永磁吸盘除了操作方便,而且具有耗能小、安全、环保、价格便宜等特点。

3 托架箱体

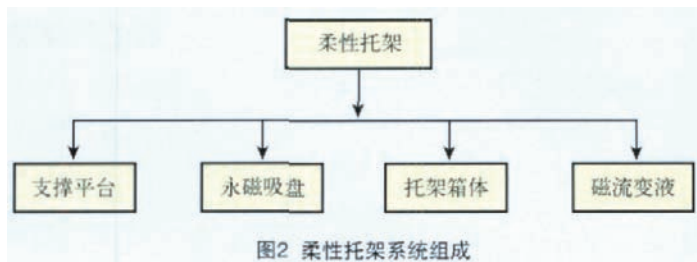
托架箱体采用有机玻璃制作,箱体大小尺寸为 650mm × 650mm × 50mm,箱体底部较薄(仅 2mm),这样可以保证磁场穿过箱体作用于磁流变液而不受到影响。托架箱体系统还包括一层覆盖在磁流变液上的防油橡胶薄膜,它的作用是保证零件与磁流变液良好接触而不被腐蚀。橡胶膜厚度仅 0.8mm,且具有弹性,保证无论零件外形如何复杂,磁流变液都可以完全贴合被检测零件。

4 磁流变液

磁流变液是由高磁导率、低磁滞性的微小软磁性颗粒和非导磁性液体混合而成的悬浮体。磁流变液一般主要由磁性颗粒、载液和添加剂 3 部分组成。

(1) 磁性颗粒

在外加磁场作用下,磁性颗粒被磁化,按序排列相接成链,这种类似链状的结构阻碍了液体的流动,因此,改变了液体的流变行为^[3]。由此可见,磁性颗粒是影响磁流变效应的重要因素。磁流变液的磁化特征与磁性颗粒自身的磁特性,磁性颗粒间聚集状态和结构特征有关,磁流变液的磁化饱和强度虽然与体积分数无关,但磁化率却随体积分数的增加而增加,随磁性颗粒直径增大而增大^[4]。Felt^[5]发现磁流变液的屈服应力与颗粒体积分数成正比。但是选用较大的颗粒直径和较高的颗粒体积百分数同时也提高了磁流变液的零磁场粘度,这不利于磁流变液贴合零件表面。胡林等^[6]采用天然高分子蛋白质对强磁性铁粉进行化学方法处理,杨仕清等^[7]采用合金颗粒作为磁性



颗粒制备磁流变液,江万权等^[8]在悬浮液中加入适量纳米级磁性颗粒,Foiqter等^[9]混合2种直径大小不同的磁性颗粒来制备磁流变液,这些方法在提高了磁流变液屈服应力的同时,又保证磁流变液具有良好的沉降稳定性。

(2) 载液

载液的作用是保证磁性颗粒均匀分散于磁流变液之中,使得磁性颗粒和载液在磁场作用下构成两相悬浮液这一整体行为。一般来说,磁流变液的载液应具有以下特点:(1)高沸点、低凝固点。这可以确保磁流变液具有较宽的工作温度范围。(2)适宜的黏度。磁流变液的零磁场条件下应具有较低的黏度,要求载液的黏度越低越好,但黏度越低,沉降稳定性越差^[10]。此外,载液一般还应具有良好的化学稳定性、非导磁性、无毒、无异味、不污染环境等特点。

(3) 稳定剂

现在一般多采用羰基铁粉和纯铁粉作为磁性介质,其密度约为 $7\sim 8\text{g}/\text{cm}^3$,而载液的密度一般为 $1\text{g}/\text{cm}^3$,磁性颗粒的比重较大,容易沉降,可行的方法是添加适量的稳定剂来提高磁流变液材料的沉降稳定性,保证磁流变液可长期使用。

磁流变液是整个柔性托架的核心,磁流变液的性能直接影响托架的柔性以及可行性,因此磁流变液的配制至关重要。经过大量试验,我们选用一定比例的羰基铁粉、植物油和少量的表面活性剂配制出来的磁流变液具有以下特点:(1)零磁场黏度低,这说明磁流变液的流动性好,可以很好模拟零件表面。(2)强磁场下具备了一定的剪切屈服强度,由于柔性托架仅用于支持薄壁零件激光检测,磁流变液仅需克服零件重力即可,因此对固化的磁流变液剪切屈服强度要求不高。(3)温度使用范围宽,即在相当宽的温度范围内磁流变液都具有一定的稳定性。(4)沉降稳定

性好,保证长时间不分层。(5)无毒、无异味、不挥发、不污染环境。

柔性托架的安装及调试

该柔性托架结构简单,系统安装方便。首先,将2块永磁吸盘并排放置在工作平台中央,然后将托架箱体放置在永磁吸盘的工作区域,并将配制的磁流变液注入托架箱体,注入量应适中,最后将橡胶薄膜平铺在磁流变液上。

系统安装完成时首先需要进行系统的调试。

(1)检查支撑平台的平稳性、移动灵活性以及工作面平整性:这主要看支撑平台的移动是否灵活方便,4个支脚旋紧后工作平台是否平稳以及工作台面有无凸凹不平之处。

(2)检查托架箱体的密闭性:主要防止磁流变液漏出。

(3)检查橡胶薄膜:首先要保证橡胶薄膜的完整性和柔韧性,其次要检查橡胶薄膜四周是否处于放松状态,确保橡胶薄膜和磁流变液同步变形,最后要检查橡胶薄膜是否足够大,防止在放置零件后橡胶薄膜落入磁流变液内。

(4)永磁吸盘的调试:主要检查永磁吸盘磁场的可控制性,调节永磁吸盘开关,看磁流变液能否进行液-固两相转化。

(5)整体系统调试:检查系统的整体性能,防止在工作过程中出现不协调现象。

柔性托架使用流程

系统调试完成后,柔性托架即可投入使用。在零件的检测过程中,操作人员必须按照柔性托架的使用流程进行作业。操作流程如图3所示。

(1)托架系统检查:在开始检测之前必须检查系统状态,保证永磁吸盘处于关闭状态。

(2)恢复磁流变液:将磁流变液搅拌均匀,使磁性介质处于悬浮状态。

(3)铺设橡胶薄膜:将橡胶薄膜覆盖于箱体上并检查橡胶薄膜与磁流变液的接触情况。

(4)放置检测零件:铺设好橡胶薄膜之后,将零件缓缓放置于薄膜上,并保持零件水平放置,直至磁流变液固化后再松开。

(5)打开永磁吸盘:零件放置好后,同时打开两侧永磁吸盘开关,保证零件完全被托持。

(6)开始检测:待零件稳定后开始检测,在检测过程中防止零件被触动而影响检测结果。

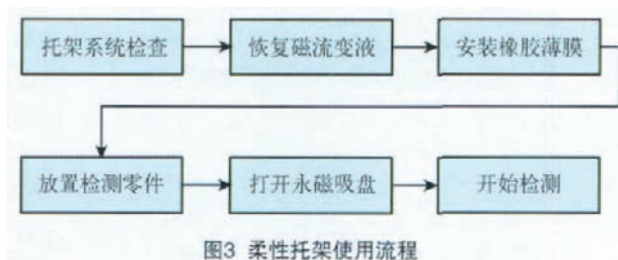


图3 柔性托架使用流程

结束语

本课题利用磁流变效应设计了一种柔性检测托架,该柔性托架系统可以用于飞机蒙皮类零件的数字化检测。它的最大优点是利用磁流变液在零磁场下所具有的良好流动性可以模拟任意复杂曲面外形的零件,并且简单、方便、快捷地解决了飞机蒙皮零件在检测中易变形的问题,这是机械夹紧装置无法实现的,为实现飞机制造的数字化控制打下了基础,具有实际应用价值。

本文共有参考文献10篇,因篇幅所限未能一一列出,读者如有需要请向本刊编辑部索取。

(责编 岩石)