

焊接残余应力产生原因分析及消除方法

黄华强 李柏松 魏守盼 王国友

(徐州徐工矿山机械有限公司, 江苏 徐州 221100)

摘 要:焊接残余应力是影响工程机械结构件疲劳强度、寿命及尺寸精度的重要因素,现结合生产实际分析了焊接残余应力产生的原因及危害,介绍了残余应力的控制方法,重点讨论了热处理法、振动时效法、超声波冲击法等消除残余应力的方法及优缺点,并简单阐述了残余应力检测的几种方法。

关键词:焊接残余应力;产生原因;消除方法

1 残余应力分类及产生原因

焊接残余应力是指在焊接后,无外力作用下,存在于工件内部并实现互相平衡的内应力。机械加工和强化工艺都能引起残余应力,如焊接、冷拉、弯曲、切削加工、滚压、喷丸、铸造、锻压和金属热处理等。残余应力一般是有害的,如零件在不适当的热处理、焊接或切削加工后,会因残余应力而发生翘曲或扭曲变形,甚至开裂。

工程机械中,焊接结构件较多,焊接过程中焊缝处金属急剧加热、快速冷却,远离焊缝处温度变化较小,温度梯度较大,由此产生不均匀塑性变形而导致热应力^[1],同时,焊缝区金属组织发生转变将引起相变应力,使得焊缝区承受残余拉应力,远离焊缝区承受残余压应力。

焊件横截面因各部分温度不一样产生的方向平行于焊缝轴线的应力称为纵向残余应力,方向垂直于焊缝轴线的应力称为横向残余应力。

2 残余应力的影响

残余应力一般是有害的,当残余应力与工作应力叠加加强时,会影响结构件疲劳强度及寿命^[2],并且随着应力的逐步释放,结构件会发生缓慢的变形,影响结构件尺寸稳定性,同时残余应力还会加剧构件应力腐蚀的速度^[3]。当残余应力方向与工作应力方向相反时,残余应力会加强结构件疲劳强度和寿命,起到应力强化的作用。

3 焊接残余应力控制方法

3.1 焊接结构

焊接是产生焊接残余应力的根本原因,减少焊缝数量和尺寸能有效减少焊接量,通过控制焊接量可有效减少应力。在同等焊接强度下,焊缝尺寸较小的,其焊接残余应力较小。

应尽量避免多条焊缝在同一部位集中,焊缝距离过近时,焊缝间会产生耦合,形成复杂残余应力场,焊缝间距离一般应大于3倍板厚且不小于100 mm。

(2)运用三维模型装配仿真对打磨掉干涉区域后的前承力机匣和IGB机匣进行模拟装配,结果显示可实现装配;

(3)实物装配IGB机匣与打磨后的前承力机匣,可顺利完成装配;

(4)装配后的发动机在完成其原定试验计划后,未出现任何潜在问题。

通过三维装配仿真可有效地为设计及排故等提供有力的技术支持,节省由于设计等不合理带来的返工、时间以及其他成本的浪费。

5 结语

目前发动机装配分析主要是对比典型民用航空发动机装配顺序和装配路径,定性判断整机装配性,无法准确判断实际装配情况。通过三维仿真装配技术,在方案设计阶段,建立发动机装配仿真模型,进行三维静态、动态干涉检查,规划整机装配路径,可最大程度地暴露并提前解决装配过程存在的干涉问题,保证实际装配可行性,提高装配效率,节约成本。

[参考文献]

- [1] 雷相波.虚拟装配的3D空间动作路径方法研究[J].电脑编程技巧与维护,2019(12):79-80.
- [2] 田富君,田锡天,耿俊浩,等.基于视点跟随的装配路径规划与干涉检查研究[J].中国机械工程,2011,22(15):1810-1814.
- [3] 邵毅,余剑峰,李原,等.基于VMap的装配路径规划研究与实

现[J].西北工业大学学报,2001,19(1):118-121.

- [4] SUN J K, YANG C Y, QIU H H. Assembly Process Planning Based on Tri-dimensional Visual Platform [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 644/645/646/647/648/649/650: 4805-4808.
- [5] 徐丽英.基于CATIA V5平台模型装配过程中的干涉分析[C]//大型飞机关键技术高层论坛暨中国航空学会2007年年会论文集,2007:161-169.
- [6] 杨家军,苏昭群,张明丽,等.基于虚拟现实技术的机构干涉分析[J].湖北工业大学学报,2010,25(4):1-3.
- [7] 穆塔里夫·阿赫迈德,张年松,郑力.加工中心虚拟装配建模及装配干涉研究[J].现代制造工程,2002(9):14-16.
- [8] 郑轶,宁汝新,刘检华,等.交互式虚拟装配路径规划及优选方法研究[J].中国机械工程,2006,17(11):1153-1156.
- [9] 刘检华,宁汝新,万毕乐,等.面向虚拟装配的复杂产品装配路径规划技术研究[J].系统仿真学报,2007,19(9):2003-2007.
- [10] 刘检华,宁汝新,姚珏,等.面向虚拟装配的零部件精确定位技术研究[J].计算机集成制造系统,2005,11(4):498-502.

收稿日期:2018-05-17

作者简介:王秋阳(1985—),女,湖北襄阳人,硕士,工程师,主管设计师,研究方向:发动机总体结构设计。

应尽量采用刚度较小的焊接接头形式,其结构拘束度小,能够通过变形释放焊接应力,残余应力较小。

3.2 焊接工艺

结构组件拆分、焊前预热、焊接参数设置、焊接顺序等对焊接应力影响较大。

将结构件合理地拆分成若干组件,尽量在组件上完成焊缝焊接,同时减少焊接时的焊缝拘束度,由于组件刚度小,结构能够自由变形,可通过焊接变形减少残余应力。

焊前预热可减少焊接时的温度梯度与冷却速度,使得不同部位焊接变形的差异变小,能够有效降低焊接残余应力。预热温度根据金属材料、结构刚性、散热情况的不同而异,温差越小,越能使焊缝区与结构整体尽可能均匀地冷却,从而减少内应力。对于淬硬倾向较大的材料、脆性材料或刚性较大的焊件,在焊接或焊补时常用此法。

焊接参数是影响热输入的重要因素,小参数焊接时热输入量小,能够减少塑性变形区,进而降低焊接残余应力。

合理的焊接顺序应保证焊缝纵向和横向收缩均能比较自由,能够通过控制焊接变形减少焊接应力。在焊接时现场条件允许的条件下,尽量采取以下措施,以有效减小焊接残余应力:先焊收缩量大的接头(对接接头),后焊收缩量小的接头(搭接、角接接头);先焊错开的短焊缝,后焊直线长焊缝或平行焊缝;尽量同时同方向焊接;从焊接结构中心向外焊接等。

4 应力消除方法

4.1 热处理时效

热处理法消除残余应力的基本原理是把工件加热到略低于再结晶开始温度,保温后缓慢冷却。在加热保温过程中由于温度升高,金属原子运动能力上升,使工件中晶格缺陷减少,导致晶格弹性畸变能量降低,使得部分或全部的变形回复到初始位置,从而达到消除焊接残余应力的目的^[4]。

热处理法在消除应力的同时,通过均化组织能够降低焊接热影响区的硬度,同时也可消除焊缝中的氢,提高焊接件的抗腐蚀能力、脆性断裂强度。但热处理能耗高、成本高、污染严重、周期长,并且热处理时若温度控制不好,局部温度过高会造成材料屈服强度下降,甚至可能出现再热脆化和再热裂纹。

热处理时效温度应低于材料的最终热处理温度,否则会严重降低材料性能。正常情况下不对高强钢和耐磨钢进行热处理时效,这正是因为其出厂时一般为淬火+回火,回火温度一般低于再结晶开始温度,若对其进行热处理时效,往往会使其回火得到的组织性能受到损失。

4.2 超声波冲击强化

超声波冲击法消除残余应力的基本原理是以大功率超声波设备为动力源,推动冲击工具以20 000次/s以上的频率冲击工件表面,使工件发生塑性变形,在工件表面形成压应力强化作用^[5]。该方法使用方便、成本低、效率高、无污染,目前在钢结构焊件中运用十分广泛。该方法还可提高焊接处疲劳强度,抑制焊接裂纹,降低焊接区域的应力集中,稳定构件尺寸。

该方法主要用来处理焊缝区域,尤其是焊接缺陷最多的焊趾部位,裂纹的扩展及应力集中区都集中在焊趾处。而超声波冲击利用超声波高频率、高能量的特点,瞬间提供的加速度达到重力加速度的上万倍,带动冲击针,对焊缝焊趾处实行敲击,

实现焊趾处的残余压应力,同时塑性变形会钝化尖端部位,闭合微观裂纹,改善焊趾处的焊接缺陷。超声波冲击强化可使钢制焊接接头疲劳强度提高60%~180%,寿命延长10~135倍。

4.3 振动时效

振动时效消除残余应力的原理是在激振力的作用下,使用某一频率使金属工件共振,通过振动使焊件各部位在交变应力与残余应力的合力作用下产生局部屈服,引起微小塑性变形,使构件内部的残余应力减小,并强化金属基体。振动处理法操作简便、时间短、成本低且节能环保,可以使焊件中的应力均匀分布,保持焊件尺寸稳定,且对工件尺寸和形状没有限制,对于大型复杂工件具有很好的适应性,但应力消除效果受焊件尺寸、材料及振动处理工艺的影响较大。

目前,振动时效去应力技术已得到广泛发展,由传统的高频振动发展为频谱谐波振动,振动噪音由100~120 dB降低到75 dB以下,能够根据工件特点及激振点、支撑点位置,自动优选谐振峰进行处理,应力去除效果显著增加。

4.4 喷丸处理法

喷丸处理法是将高速弹丸喷射到工件表面,使工件表层发生塑性变形,而形成一定厚度的强化层。强化层内形成较高的残余应力,由于工件表面压应力的存在,从而提高工件的疲劳强度。

有研究表明,喷丸处理法对材料的抗拉强度没有明显影响,可使延伸率略有降低、表面硬度有所增高、冲击韧度略有下降,但能大幅提高循环载荷作用下金属的疲劳强度和耐应力腐蚀能力。不过喷丸处理法会使材料表面的显微组织结构发生变化,受喷表面变得粗糙。

5 检测方法

残余应力检测方法较多,这些检测方法可以分为机械测量法和无损测量法两大类。机械测量法原理为将具有残余应力的部件从构件中分离或切割出来使应力释放,由测量其应变的变化来求出残余应力,该方法会对工件造成一定损伤和破坏,但测量精度较高,技术也较为成熟,常见的有钻孔法、切条法等;无损测量法就是利用声、光、磁和电等特性,在不损害或不影响被测量对象使用性能的前提下测量残余应力的方法,常见的测量方法有磁测法、X射线衍射法、超声波法等。

【参考文献】

- [1] 方洪渊. 焊接结构学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [2] 赵剑, 卞冰. 浅析焊接残余应力的产生及影响[J]. 山东工业技术, 2016(6): 9.
- [3] 王永林, 余钱. 循环氨水管道泄漏原因分析及防漏措施[J]. 安徽冶金, 2010(2): 39-42.
- [4] 张铁浩, 王洋, 方喜凤, 等. 残余应力检测与消除方法的研究现状及发展[J]. 精密成形工程, 2017, 9(5): 122-127.
- [5] 李栋. 正面随焊超声波冲击对焊接残余应力与变形的影响[D]. 济南: 山东大学, 2017.

收稿日期: 2018-05-14

作者简介: 黄华强(1971—), 男, 陕西咸阳人, 工程师, 研究方向: 工程机械材料与焊接技术。