

金属材料超声滚压表面强化的研究进展

李光辉,林有希,蔡建国

福州大学

摘要: 超声滚压表面强化技术具有良好的光整特性,能够实现对被处理材料的表面改性,提高其综合性能,不同程度地克服了滚压、喷丸等传统工艺的缺陷,具有广阔的发展前景。本文介绍了超声滚压技术的加工原理,总结了目前国内外超声滚压技术的研究进展,指出其重点研究方向是将该技术应用于工程部件的表面强化与修复,并对超声滚压表面强化技术的研究趋势进行了展望。

关键词: 超声滚压;表面改性;应用

中图分类号: TG176;TG688;TH142

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1000-7008.2020.01.001

Research Progress on Ultrasonic Rolling Surface Strengthening of Metallic Material

Li Guanghui, Lin Youxi, Cai Jianguo

Abstract: Ultrasonic rolling surface strengthening technology has excellent finishing characteristics, which can realize surface modification of the treated material and improve its comprehensive properties. It overcomes the defects of traditional technology such as rolling and shot peening to different degrees and has a broad development prospect. The processing principle of ultrasonic rolling technology is introduced, the research progress of ultrasonic rolling technology at home and abroad is summarized, and it is pointed out that the key research direction is to apply the technology to the surface strengthening and repairing of engineering components. At last, the research trend of ultrasonic rolling surface strengthening technology is prospected.

Keywords: ultrasonic rolling; surface modification; application

1 引言

工件所使用的金属材料因其特殊的工作环境,常受到磨损、腐蚀和疲劳损伤,导致零件失效。由于材料表层的组织结构对失效敏感,因此失效多产生于零件表面。提高金属材料表面性能有效增强其使用性能,而表面强化是一种通过改善金属材料的表层组织结构和残余应力分布来提高其表层特性的常用方法^[1]。

为了提高材料的表面性能,延长材料的疲劳寿命,提出了多种表面处理技术。表面纳米化是一种不改变化学成分而将材料表层晶粒细化为纳米尺寸,从而提高工程部件整体机械性能的表面处理技术^[2],包括超声喷丸加工、超声冲击处理、激光冲击处理和超声表面滚压加工等。其中,超声滚压工艺可以显著提高钛合金、铝合金和不锈钢等金属材料的表面性能,在提高材料的疲劳强度、耐磨性和抗腐蚀性等方面具有较大潜力^[3]。研究表明,超声滚压处理后40Cr的表面粗糙度降低至 $0.06\mu\text{m}$,低于抛

光处理的 $0.28\mu\text{m}$ ^[4];Ti-6Al-4V合金的微动疲劳极限提高了72.7%^[5];17-4PH不锈钢表层显微硬度明显优于车削试样^[6]。

与其他表面处理技术相比,超声滚压表面强化处理后的试样表面光洁度和外观都得到了很好的保证,具有工艺简单、节能环保和效率高等优点,可以代替传统的滚压、喷丸等加工工艺,在汽车工业、齿轮制造业和航空航天等领域得到了广泛应用。

2 超声滚压技术加工原理

超声滚压技术是电子技术与传统滚压工艺的结合,属于无切削光整加工范畴。超声滚压加工装置见图1。

超声波发生器将交流电转换成高频电振动信号后,在换能器的作用下转变为同频率的机械振动,并由变幅杆将该机械振动的振幅放大并传递给工具头。工具头被设计成可旋转的球形,通常由碳化钨、钴等硬质合金材料制成,通过将滑动摩擦改为滚动摩擦,提供了良好的稳定性,延长了超声滚压工具头的寿命^[7,8]。

在超声滚压加工过程中,工具头沿材料表面法线方向施加一定的静压力和超声振动,在静态挤压

基金项目: 国家自然科学基金(51975123);福州市科技计划项目(2019-G-42)

收稿日期: 2019年7月