

浅析喷丸强化技术的应用与发展

马营涛, 冯力争, 许正顺

(国营四达机械制造公司, 陕西 武功 712203)

摘要: 喷丸是一种广泛应用于机械工业和航空航天等领域的表面强化工艺, 该工艺对于提高金属材料的疲劳强度、延长材料使用寿命具有非常重要的意义。随着技术的进步, 在传统机械喷丸基础上又逐渐发展出来许多新型喷丸技术以适应新的技术需求, 这些新型喷丸工艺具有不同的工艺特点。

关键词: 喷丸; 表面强化; 应用与发展

中图分类号: TQ639

文献标志码: B

文章编号: 1007-9548(2024)06-0055-03

Analysis on the Application and Development of Shot Peening Technology

MA Ying-tao, FENG Li-zheng, XU Zheng-shun

(State-owned Sida Machinery Manufacturing Company, Wugong 712203, Shaanxi, China)

Abstract: Shot peening is a surface strengthening process widely used in machinery industry and aerospace fields, this process is of great significance for improving the fatigue strength and prolonging the service life of metal materials. With the development of technology, on the basis of traditional mechanical peening, many new peening technologies have been gradually developed to meet the new technical requirements, and these new peening processes have different process characteristics.

Key words: shot peening; surface strengthening; application and development

0 引言

喷丸是一种广泛应用于船舶制造、航空航天等机械工业领域的金属表面强化加工工艺。它是在被喷丸金属零件或金属材料的再结晶温度下, 将喷丸介质(钢丸、陶瓷丸、玻璃丸等)加速到较高速度, 以高速的介质流冲击受喷丸材料表面, 使其表层组织产生塑性变形, 材料晶粒细化, 形成残余压应力层, 继而改善零件表面的完整性, 提高金属材料的疲劳强度和抗应力腐蚀开裂能力。

随着科学技术的不断进步与发展, 在航空发动机制造、核电等高精领域, 对于材料的使用要求越来越严苛。因此, 为了提高金属材料的疲劳强度, 延长金属材料使用寿命, 在传统的机械喷丸(即干喷丸)基础上又

逐渐发展出来许多新型的喷丸技术。这些新型喷丸工艺中具有代表性的有: 高压水射流喷丸强化、湿喷丸强化、超声喷丸强化、激光喷丸强化等技术, 下面将根据其各自特点逐一展开介绍。

1 机械喷丸强化

传统意义上的机械喷丸即干喷丸, 是将一定质量与直径的弹丸(陶瓷丸、玻璃丸、铸钢丸等), 通过气动加速或离心加速后, 以一定的速度和角度连续“锤击”在金属零件表面, 使其表层组织产生塑性变形, 以达到细化晶粒、植入残余压应力的目的, 继而提高金属材料的疲劳强度和抗应力腐蚀开裂能力。

机械喷丸具有工艺成熟、操作简单、强化效果显著、成本低廉等优点, 已被广泛应用于各类金属零件的喷丸强化。但是喷丸强化后残余压应力层深度有限, 零件表面粗糙度较喷丸前会有一定降低, 对于复杂型面的金属零件加工有天然的缺陷, 设备占用空间大, 且喷丸过程中会产生大量金属粉尘及噪音, 对人的身心及健康影响较大。

收稿日期: 2023-12-20

作者简介: 马营涛(1987—), 男, 本科, 工程师, 主要从事飞机修理技术研究和管理工作, 对特种工艺在飞机修理中的应用有深入研究。E-mail: 897660828@qq.com。

2 高压水射流喷丸强化

高压水射流喷丸强化的介质为水,在被强化金属零件或金属材料的再结晶温度下,利用高压水射流连续不断地高速冲击金属零件表面,使其表层组织产生塑性变形,形成冷作硬化层,从而提高零件的疲劳强度和抗应力腐蚀开裂能力^[1]。高压脉冲水射流强化原理如图1所示^[2]。

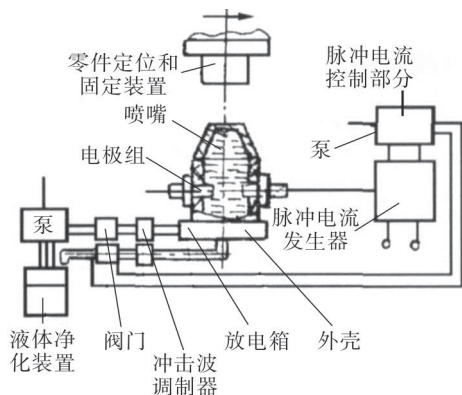


图1 高压脉冲水射流强化原理

由于介质水在喷射过程中覆盖面广,使得在高压水射流喷丸在喷丸过程中可实现复杂零件狭窄区、深凹槽等部位强化,且覆盖率可一次达到100%,喷丸前后零件表面粗糙度几乎不会有变化;其次,高压水射流喷丸可以同时实现多表面喷丸强化,喷丸效率更高,成本更低;另外,喷丸介质水对环境无污染,喷丸过程中噪音小、无粉尘,对人的身心及健康影响小,采用高压水射流喷丸可实现绿色喷丸强化。

3 湿喷丸强化

湿喷丸是一种混合喷丸,之所以这样讲,是因为它的工作介质通常是弹丸(陶瓷丸或玻璃丸)与水混合形成的固液混合介质。其工作原理为:固液混合介质经过加速后,以一定的速度和角度连续“锤击”金属零件表面,使其表层组织发生塑性变形,材料晶粒细化,植入残余压应力,从而提高金属材料的疲劳强度和抗应力腐蚀开裂能力^[3]。

同传统的干喷丸依靠高压气体或离心力加速弹丸相比,湿喷丸依靠水压加速固液混合介质,工作压力稳定性高、波动小,更容易获得弹丸所需速度。湿喷丸的强化原理与干喷丸在本质上是一致的,它依靠的是加压后的混合介质流撞击零件表面,使材料表层组织产生塑性变形。

另外,它所需的水压远低于高压水射流喷丸,且形成的压应力层深度也更深。湿喷丸工作环境粉尘污染小,在喷丸过程中,零件表面形成的水膜可以起到很好

的减摩和冷却作用,故而喷丸后零件表面粗糙度较机械喷丸强化后更优。

此外,水膜使得湿喷丸过程中弹丸冲击零件表面的载荷分布均匀度更高,应力植入更均匀,且水流在带走大量摩擦热量的同时其润滑作用也极大地延长了喷嘴的使用寿命。

4 超声喷丸强化

超声喷丸强化也叫超声波喷丸强化,它是以高频、高功率的超声波为驱动力,利用压电变送器将能量转换为同频的机械振动纵波,后经变幅杆调节放大,驱动喷丸介质(弹丸或撞针)撞击被强化金属零件的表面,使其表层组织发生塑性变形,形成冷作硬化层。由于超声喷丸过程中能量密度高,强化会促使表层材料发生剧烈的塑性变形,形成残余压应力层更深,材料的晶粒细化度也更高,可至纳米级^[4-5]。超声喷丸强化原理如图2所示^[6]。

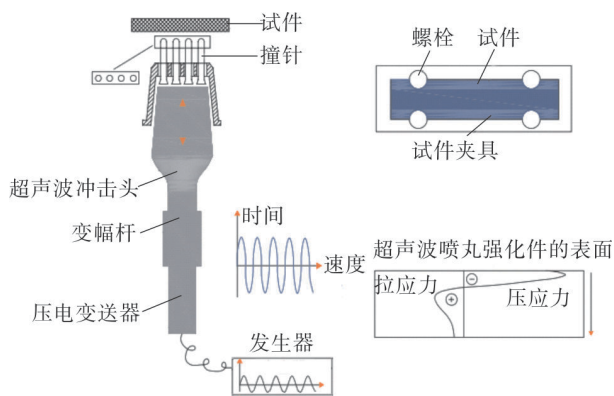


图2 超声喷丸强化原理

与传统干喷丸相比,超声喷丸形成的残余压应力层深度要更深,可植入更多的残余压应力,这对于提高金属材料的疲劳强度与抗应力腐蚀开裂能力具有积极的意义。且超声喷丸设备相较于其他形式的喷丸工艺更加便携小巧,噪音污染更小,可实现复杂形状零件的喷丸强化。但影响超声喷丸的因素较为复杂,由于国内研究起步晚,应用和普及相对较低,在精确控制方面还需进一步的探索和研究。

5 激光喷丸强化

激光喷丸强化的介质为高能冲击波,它是利用强激光诱导的高强冲击波(G帕级压力)冲击金属材料表面,使其表层组织发生塑性变形,形成冷作硬化层,从而改善材料的机械特性,继而大幅提高材料的抗应力腐蚀性能和疲劳特性。激光喷丸强化原理如图3所示。

激光喷丸强化采用的是强激光诱导的冲击波进行

“喷丸”强化的,强化后形成的压力应力层更深(可达1~2 mm),植入组织的压应力大;激光喷丸强化的参数、作用区域、强化层的深度以及压应力植入大小均精确可控,这使得激光喷丸强化可以对小孔、倒角和沟槽等一些传统喷丸工艺不能强化的部位可进行强化处理,且强化“压坑”深度浅(微米级),对零件的表面粗糙度影响极小^[7]。

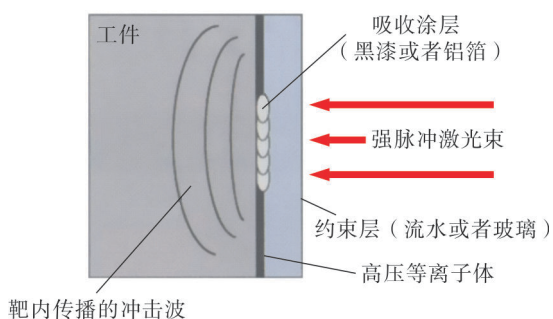


图3 激光喷丸强化原理

虽然激光喷丸强化工艺性能优异,但由于国内起步晚,受工艺、设备及制造业水平限制,激光喷丸强化产业化规模小,工艺标准完善度低,不同材料的工艺参数库未建立起来,强化成本高昂,除在一些高附加值的零件(如航空发动机涡轮叶片等)应用外,普及度还不是很,距离全面推广应用还有一定距离。

6 小结

通过以上介绍我们可以看出:

1)不同的喷丸工艺技术虽然从加工形式、加工介质和工艺特点上各有不同,但对于金属零件表层的根本强化机理相同,即通过对被喷丸材料表面进行冲击强化,在材料的表层组织植入一定压应力,细化组织晶粒,从而提高金属材料的疲劳强度和抗应力腐蚀开裂能力。

2)随着喷丸技术的不断发展,传统干喷丸已经无法满足新的工艺技术发展需求,会逐渐被新型的先进喷丸工艺替代。但由于其工艺成熟可靠、加工效率高且成本低廉,在未来一段时间内仍然是常规金属零件喷丸强化的首选。

3)对于强化后表面粗糙度和应力植入要求较高的关键零部件喷丸强化,可根据实际选择高压水射流喷丸或湿喷丸进行强化。

4)超声喷丸虽然工艺成熟度不高,但其工艺设备小巧,便携性强,为户外抢修应急处置(焊缝等)、飞机战伤抢修等工艺开展严苛、机动性要求较高的情况,提供了一种工艺强化的可能。

5)对于航空发动机涡轮叶片、大型燃气轮机涡轮

叶片等高精核心零部件,喷丸后零件表面粗糙度要求高,应力植入要求高且精准的喷丸强化,建议选择激光喷丸强化。

7 发展与前景

随着科学技术的不断进步与发展,许多工业领域对于机械产品疲劳性能要求越来越严苛,而喷丸作为一种有效的金属材料强化手段也越来越受到人们的重视。但要让这些新型的喷丸技术在实践中得到更多、更广泛的应用,还应重点从以下几方面开展研究:

1)“以人为本,绿色环保”将是未来工艺技术发展的一个重要主题。降低金属粉尘与噪音,提高设备自动化程度,降低操作人员劳动强度等,对于保护操作人员具有重要的意义。因此,在喷丸设备研制、喷丸工艺优化与发展中应予以重视和考虑。

2)随着国内工业水平的不断发展与崛起,“拿来主义”之外,在喷丸自动控制领域与快捷化检测领域应加大研究与投入,以提高喷丸的自动化程度与生产效率,同时避免在关键时候被别人“卡脖子”、受制于人。

3)加强各类先进的喷丸工艺理论研究,尤其应在数字化理论建模及工程算法等方面花大力气,建立不同材料工艺参数库,不断迭代积累、优化喷丸工艺参数,从而提高不同材料和材料不同状态下的喷丸质量。

4)单工艺模式将在未来喷丸工艺中逐渐失去自身优势与地位,混合或复合形式的喷丸将是未来发展的趋势。

5)激光喷丸强化核心设备需要进一步攻克,提高国产化程度,为未来的普及与量产化打下良好的基础。

参考文献:

- [1] 董星,段雄.高压水射流喷丸强化技术[J].表面技术,2005,34(1):48-49.
- [2] 曾元松,李耐锐,郭和平.高压水冲击强化技术的研究现状及发展[J].塑性工程学报,2008,15(1):97-103.
- [3] 李康,付雪松,李志强,等.湿喷丸强化对TC4合金疲劳断裂机制的影响[J].稀有金属材料与工程,2017,46(10):3068-3072.
- [4] 高琳.高能超声波喷丸板料成形技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2012.
- [5] 陈星.超声波喷丸校形的应用研究[D].南京:南京航空航天大学,2013.
- [6] 鲁世红,吴天睿,高国强,等.超声波喷丸表面强化技术研究与应用进展[J].航空制造技术,2016(4):24-27.
- [7] 李伟,李应红,何卫锋,等.激光冲击强化技术的发展和应[J].中国光学期刊网,2008,45(12):15-19.