

激光造型技术在摩擦副表面处理中的应用

钱振华, 左希庆

(湖州职业技术学院机电工程分院, 浙江 湖州 313000)

[摘要] 摩擦副表面的微细形貌深刻影响着摩擦副的摩擦学性能,因而人们利用各种加工方法对摩擦副进行表面处理以达到所需的摩擦学性能,激光表面造型技术以其诸多的优点而被认为是摩擦副表面处理的理想手段。首先阐述了激光表面造型技术的原理及其减磨机理,介绍了激光表面造型专用设备的基本组成及其控制原理,接着详细论述了激光表面造型技术在重要摩擦副处理中的应用及取得的效果,最后提出了激光表面造型技术的发展和前景。

[关键词] 激光造型; 摩擦副; 表面处理

[中图分类号] TG665

[文献标识码] B

[文章编号] 1001-3660(2008)01-0086-03

The Application of Laser Texturing in the Surface Treatment of Friction Units

QIAN Zhen-hua, ZUO Xi-qing

(Huzhou Vocational & Technical College, Huzhou 313000, China)

[Abstract] The micro asperities have a deep effect on tribology performance of friction units. It is very necessary to use a certain kind of technique of surface treatment to improve tribology performance. Laser texturing was considered as a perfect means of surface treatment because of its various advantages. The principle of laser texturing and its wear reduction mechanism were described, the basic comprising and control principle of special laser texturing equipment were introduced, and the application effect of laser texturing on important friction units was elaborated. The prospects of development and application of laser texturing were put forward.

[Key words] Laser texturing; Friction units; Surface treatment

0 引言

摩擦副以各种形式存在于机械装置系统中,其摩擦学性能的优劣决定了机械系统的可靠性和运行效率。据估计,大约有80%的零件损坏是由于各种形式的磨损引起的,全世界大约有1/3~1/2的能源以各种形式消耗在摩擦上^[1]。因此,改善摩擦副的摩擦学性能对国民经济具有重要意义,也是今后一段时间内国家可持续发展战略和节能减排工作的一项重要内容。

早在20世纪60年代后期,就有Hamilton等人开始研究在物体表面加工出微细形貌(micro asperities)以改善物体摩擦学性能的表面处理技术。随后的近40年,许多学者纷纷投入到该领域的实验和理论研究中去,对诸如机械密封、气缸套、活塞环以及推力轴承的表面处理的研究更成为近期热点。随着研究的深入,人们发现表面微细形貌在相互运动摩擦的物体表面主要有以下一些作用:1)使相互平行的摩擦表面产生动压润滑;2)减少摩擦表面的摩擦因数,从而减少摩擦力或摩擦力矩;3)提高承载能力;4)微孔(槽)可以作为储油槽,为边界润滑提供润滑或为刚启动的摩擦表面提供润滑;5)微孔(槽)可以用作储屑槽,容纳因为边界润滑或干摩擦产生的磨屑,从而减少磨损,延长使用寿命^[2]。

对摩擦副表面加工深度为微米级的微孔或微槽,常规的机械加工方法几乎无能为力。因而人们探索了很多加工方法,如光化学腐蚀加工、电火花加工、电化学加工^[3],近几年又出现了LIGA技术^[4]、UV光刻技术^[5],但这些方法在加工效率、加工精度、加工成本等方面存在种种缺陷。随着激光应用技术的发展,逐渐出现了一种新型表面处理技术——激光表面造型技术。激光表面造型技术与其它表面处理技术相比,具有加工速度快、加工精度高、工艺周期短、工件变形小、能源消耗低、环境污染小、不受材料限制、工艺过程易实现计算机控制等优点,被认为是摩擦副表面处理的理想手段。

1 原理

激光表面造型技术,是指利用一定能量密度的激光束,在工件工作表面上形成与润滑性能要求优化匹配的、连续均匀的、并具有一定密度(间距)、宽度、深度、角度及形状的贮存和输送润滑油的沟槽、纹路或凹腔^[6]。机械部件中,如发动机气缸套、活塞环、端面机械密封环、凸轮轴、推力轴承等都可成为激光表面造型的加工对象。

定性分析激光表面造型技术的减磨机理,就在于:

1) 利用激光束可控性的特点,在工件工作表面的整个工作长度上根据磨损状况和润滑性能要求进行表面微观造型,从而保证在整个工作长度上磨损均衡。

[收稿日期] 2007-08-25

[作者简介] 钱振华(1980-),男,浙江湖州人,助教,工学硕士,研究方向:自动控制及激光应用技术。

2) 在工件整个工作表面上形成与润滑性能要求优化匹配的、连续均匀的、并具有一定密度、宽度、深度、角度及形状的贮存和输送润滑油的沟槽、凹腔,这些油路通过交叉点相互连通,且都均匀地分布于工件表面,为工件表面提供迅速有效的润滑,减少了贫油区的出现,降低了粘着磨损。

3) 由于激光与材料独特的作用机理,使得要去掉的金属(或非金属)被汽化掉,形成的油路光滑清洁,从而保证油路畅通无阻。同时,在金属材料工件的油路周围和表面,因淬火效应而硬度提高。

4) 在油路上设置的一系列凹腔,具有储油池和聚集微小颗粒的双重作用,它一方面为周围附近区域提供润滑油,另一方面又能大大降低磨粒磨损。

5) 激光表面造型属非接触式加工,不像机械加工会发生挤压、耕犁现象,从而在金属表面不产生所谓的“金属疤皮”。

6) 虽然激光表面造型在工件表面留下了纵横交错的网格状油路,但就宏观效果而言,并不影响其支承面积^[7]。

2 设备

用于摩擦副表面激光造型的设备主要由光源和光路系统、工作台及计算机数控系统 3 部分组成^[8],如图 1 所示。

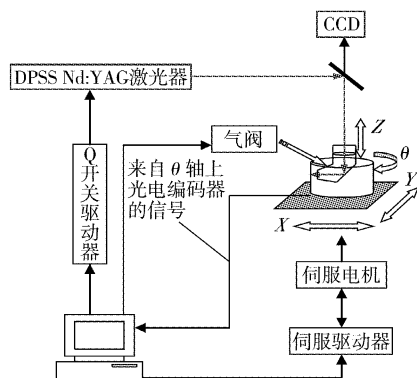


图 1 激光表面造型设备原理图
Figure 1 The diagrammatic layout of the laser surface-texturing equipment

1) 光源和光路系统 采用波长为 1064nm、脉冲宽度为 70ns 的 DPSS Nd:YAG 激光器。由于二极管泵浦 YAG 激光器具有体积小、结构紧凑、泵浦均匀等优点,经 Q 开关(Q 开关,是指实施激光器共振腔 Q 值突变的方法;Q 值也称共振腔的品质因子)调制后,可以依靠能量的储存及快速释放获得能量巨大的激光脉冲,且激光束的脉冲宽度可以控制得很窄,所以其峰值功率密度很大,这十分有利于在各类工件表面进行微观处理。激光自激光器发生后,经过外光路系统,由聚焦激光头聚焦到工件表面。采用竖直方向聚焦型与水平方向聚焦型 2 种激光头,激光头内部可通保护气体。另外,在外光路上设置 CCD 监视系统,可对加工过程进行监视。

2) 工作台 XY 移动平台水平置于底座导轨上,2 台伺服电机经滚珠丝杠分别带动移动平台在 X、Y 方向作直线运动。Z 轴由伺服电机经滚珠丝杠带动,激光头沿 Z 轴向上下移动。 θ 轴为旋转轴,由伺服电机带动,工件绕 θ 轴作旋转运动,配合 X、Y、

Z 向移动,就能够在圆周壁上或平面上完成各种轨迹的激光扫描。

3) 计算机数控系统 系统以一台工业控制计算机为核心,通过 PC 总线完成对工作台和激光器的控制,如图 2 所示。

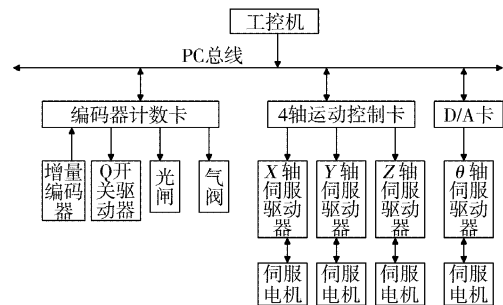


图 2 计算机数控系统
Figure 2 The CNC system

3 应用及效果

20 世纪 90 年代初,以色列教授 Etsion I 为研制高性能机械密封而将激光表面造型技术应用于机械密封环表面的处理上,加工出了多孔端面的机械密封。这种带有规则微观凹坑的机械密封,当密封介质压力较大时,仍具有可靠的承载能力,能大大改善端面的摩擦学性能,基本实现非接触;而且端面温升降低,使用寿命大大延长^[9]。如轻烃和甲苯密封介质,温度为 266 ~ 320 °C,压力为 0.67MPa 的多孔端面机械密封,在经过 6 个月的实际运行后,密封效果令人满意^[10]。2005 年, Etsion I 对激光表面造型技术的原理、工艺等进行了总结,并阐述了该技术在环端面具有规则微观凹腔机械密封的制造方面所具有的实用价值^[11]。

20 世纪 90 年代中期,德国珩磨机制造商——格林公司的 Klink U、Grimm Hans 等人为研制高性能发动机气缸而将激光表面造型技术应用于气缸表面处理,并分别在柴油机、汽油机上试验了其有效性。格林公司在 6 台 2.9L 柴油机上进行了耐磨性和机油耗试验,结果表明:气缸工作表面的磨损降低了 50%,与之配合的活塞环磨损率也降低了 50%,机油耗从 40g/h 降至 15g/h^[12]。同时,以 AVL FM528 型发动机试验了激光表面造型对颗粒排放、机油耗、HC(碳氢)排放的影响,试验结果为:机油的颗粒排放量降至原来的 25% ~ 30%,机油耗降至 30%,HC 排放量降低了 10%^[12]。

2004 年,著名汽车制造商德国奥迪(Audi)公司也开展了激光造型处理气缸套的研究。Ludolf Herbst 等人利用 UV 激光在 1 台 4 缸 TDI(Turbo Direct Injection)柴油发动机缸套上进行了激光表面造型。在发动机连续工作 602h 后,发现与机械珩磨缸套相比,激光造型处理缸套的摩擦磨损减少量由 23% 上升到 89%,与之配合的活塞环的磨损减少量由 30% 上升到 88%。他们还在 V6 发动机缸套上进行了激光造型处理,在发动机连续工作 800h 后发现机油耗降低了 75%^[13]。

近年来,国内也不乏对激光表面造型技术的研究和应用。2003 年,华东理工大学的蔡仁良、何松及河北科技大学于新奇等采用激光表面造型技术在机械密封环端面上加工出微孔,并

对多孔端面的机械密封作了摩擦性能试验,结果表明多孔端面机械密封的摩擦因数比普通机械密封要低得多^[14]。2007年,南京理工大学的熊党生、万轶等人在T8钢盘表面进行微孔化处理,并测试了其在不同载荷和速度下的摩擦学性能^[15]。

从20世纪90年代末期开始,江苏大学一直在进行激光表面造型技术的理论和实验研究。2002年,该校蔡兰、符永宏等人对G427型发动机硼铸铁缸套内壁进行了激光表面造型,经过1000h台架耐久性能试验后表明,激光表面造型后的缸套耐磨性比标准缸套高4~5倍^[7]。此后,该校不断将激光表面造型技术应用于机械密封、凸轮轴等摩擦副的表面处理,均收到了良好的效果。2005年,王霄、钱振华等人研制成功了专门用于摩擦副零件表面形貌加工的激光微造型设备,并申报了国家发明专利^[16]。同时,利用该设备已经成功加工出兼具微观润滑凹腔和宏观泵送螺旋槽的新型机械密封,如图3所示。2006年,符永宏、华希俊等人做了大量激光表面造型工艺试验^[17],进一步掌握了对表面加工质量的控制,这标志着激光表面造型技术已基本成熟。

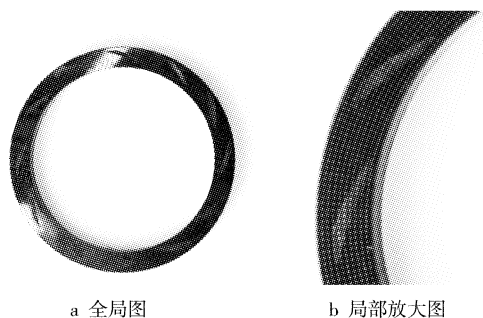


图3 兼具微观润滑凹腔和宏观泵送螺旋槽的机械密封
Figure 3 The mechanical seal having both lubricative micropores and macroscopical spirality pumping grooves

4 结 语

激光表面造型技术是一种新型表面处理技术,具有加工速度快、加工精度高、工艺周期短、工件变形小、能源消耗低、环境污染小、不受材料限制、工艺过程易实现计算机控制等优点,非常适合用于发动机气缸套、活塞环、端面机械密封环、凸轮轴、推力轴承等重要摩擦副的表面处理。目前,该技术的应用已基本成熟,但相关方面的理论研究较少,激光表面造型改善摩擦副摩擦性能的机理尚待理论证明。

经激光表面造型处理后的摩擦副,其耐磨性得到大幅提高,使用寿命大大延长,使能源消耗得到有效降低。因此,随着世界各国对机械装置、装备的稳定性及其能源消耗率要求的日益苛刻,以及环保意识的日益增强,激光表面造型技术必将展现更为广阔的应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] 温诗铸. 摩擦学原理[M]. 北京:清华大学出版社,1990. 1-3
- [2] 王霄,夏立齐,高传玉,等. 表面微造型技术改善物体表面摩擦性能的研究[J]. 润滑与密封, 2006, (4): 167-170

- [3] 于新奇,蔡仁良. 激光加工多孔端面机械密封[J]. 河北科技大学学报, 2004, 25(1): 26-28
- [4] Stephens L S, Siripuram R, Hyden M, et al. Deterministic micro asperities on bearings and seals using a modified LIGA process [J]. J. Eng. Gas Turbines Power, 2004, 126(1): 147-154
- [5] Siripuram R, Stephens L S. Effect of deterministic asperity geometry on hydrodynamic lubrication [J]. J. Tribol, 2004, 126(7): 527-534
- [6] 符永宏,叶云霞,张永康. 用于显著改善摩擦副润滑状态的激光珩磨技术[J]. 机械工程学报, 2002, 38(8): 115-117
- [7] 蔡兰,符永宏,叶云霞. 激光珩磨技术在气缸表面处理中的应用[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2002, 23(1): 5-8
- [8] Wang Xiao, Qian Zhenhua, Liu Huixia, et al. Research and development on YAG laser micro-texturing system of multi-Friction units working surface [J]. Proc. of the International Conference on Mechanical Engineering and Mechanics, 2005, 2: 1408-1411
- [9] Etsion I. Enhancing sealing and dynamic performance with partially porous mechanical face seals [J]. Tribology Transactions, 1994, 37(4): 701-710
- [10] Etsion I, Higerman Y, Halperin G. Analytical and experimental investigation of laser-textured mechanical seals faces [J]. Tribology Transactions, 1999, 42(3): 511-516
- [11] Etsion I. State of the art in laser surface texturing [J]. Transactions of the ASME, 2005, 127(1): 248-252
- [12] Grimm Hans, Lang Walter, Bergen Karl-Heinz, et al. Method of finishing a surface of a workpiece [P]. US Pat: US5441439, 1995-08-15
- [13] Ludolf Herbst, Horst Lindner, Mike Heglin, et al. Targeting diesel engine efficiency [J]. Industrial Laser Solutions, 2004, 19(10): 32-35
- [14] 于新奇,何松,蔡仁良,等. 激光加工多孔端面机械密封的摩擦特性试验研究[J]. 流体机械, 2003, 31(1): 7-9
- [15] 万轶,熊党生. 激光表面微孔化改善端面密封的摩擦学性能[J]. 润滑与密封, 2007, 32(2): 29-31
- [16] 王霄,钱振华,蔡兰,等. 摩擦副零件表面形貌的激光微造型方法及设备[P]. 中国专利:CN200610040199.6, 2006-11-08
- [17] 符永宏,华希俊,陶根宁,等. 摩擦副表面激光微造型工艺试验研究[J]. 应用激光, 2006, 26(5): 295-298

(上接第63页)

电流越大,表面硬度就越高;但电流不能过大,否则可能熔化表面,反而使机械性能下降。激光扫描速度越慢,硬度越高;但激光扫描速度过慢也会造成表面过度熔化而影响机械性能。

3) 本试验条件下,最优的参数为电流140A,扫描速度1.0 mm/s,采用此参数进行试验得到的硬度值可达224HV。

[参 考 文 献]

- [1] 戴达煌,周克崧,袁镇海. 现代材料表面技术科学[M]. 北京:冶金工业出版社,2004. 265-266
- [2] 陈天玉. 不锈钢表面处理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004. 258-260
- [3] JB2849-80, 钢铁零件渗氮层金相检验[S].