

文章编号: 0258-7025(2007)04-0574-03

曲轴激光淬火工艺

王云山, 张兴泉, 雷剑波, 杨洗陈

(天津工业大学激光技术研究所, 天津 300160)

摘要 为实现在将曲轴水平放置绕主轴转动条件下, 对单拐或多拐曲轴的主轴和曲柄轴进行激光淬火和激光熔覆, 建立了激光作用于曲拐表面形成螺线时的光斑轨迹方程。根据 802D 数控四轴联动激光淬火通用机床的运动特性, 采用圆弧插补方法, 以四轴联动方式编程, 设计了激光网纹淬火数控程序。在四轴联动激光加工通用机床上实现了曲轴水平放置绕主轴转动对曲柄轴面的网纹进行激光淬火和激光表面熔覆。由于主轴匀速转动, 定位不需要配重铁, 工作过程稳定, 可以一次装夹, 不再改变曲轴回转中心, 即可完成单拐或多拐曲轴的主轴和曲柄轴的激光淬火和激光熔覆, 使 802D 数控四轴联动激光加工通用机床的功能得到发挥。

关键词 激光技术; 激光淬火; 编程; 曲柄轴

中图分类号 TN 249 **文献标识码** A

Processing of Laser Quenching Crankshaft

WANG Yun-shan, ZHANG Xing-quan, LEI Jian-bo, YANG Xi-chen

(Institute of Laser Technology, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China)

Abstract It aims to realize the laser quenching and cladding for the principle axis and crank of single or more crank while the crankshaft is laid horizontally and rotating around the principal axis. The track of the laser spot is deduced when the laser acts on the surface of the crank and forms whorl line. According to the motion characteristic of 802D numerically-controlled machine tool in four axes linkage generally used for laser quenching, with the arc interpolation method, the numerically controlled programme for laser net veins quenching is made in the form of four axes linkage. With this, the net veins laser quenching and surface cladding for crankshaft are accomplished on the four axes linkage laser machine tool, when the crankshaft is laid horizontally and rotating around the principal axis. Because the principal axis is rotating at a constant speed, no balance iron is needed to locate the workpiece, the work process is steady, only one time of location is needed, and no more movement of the rotating axis is needed to accomplish laser quenching and cladding of the crankshaft with single or more cranks, which puts the ability of the above machine tool for laser quenching to good use.

Key words laser technique; laser quenching; program; crankshaft

1 引 言

激光淬火及熔覆技术已在空压机、汽车及其他运转机械的曲轴等形状复杂的零部件淬火方面得到了广泛应用^[1~3], 因此其性能研究也受到了较多的重视^[4~6]。隔膜空压机曲轴工作时连杆轴面产生磨损, 因此其表面需进行高频感应淬火或渗氮处理以提高其耐磨性。而该曲轴形状复杂, 采用传统工艺方法整体处理变形较大。采用激光淬火工艺对其进

行处理, 显著提高了表面硬度, 并获得了良好的表面压应力状态, 显著提高了曲轴的抗疲劳性能, 使其寿命提高, 使用成本降低。

曲轴激光淬火一般在曲轴类零件激光淬火成套设备上进行。通用激光加工机床没有专用偏心转动装置, 对曲轴的曲柄轴进行激光淬火可以采用立式方法。将卡盘安装在水平转盘上, 根据曲轴形状设置相应的偏心量。这种方法适用于长度 1 m 以下的轻型曲轴, 对于长度超出机床 z 轴行程和重量超过

收稿日期: 2006-10-30; 收到修改稿日期: 2006-12-12

基金项目: 天津市科委重点攻关项目(033188011)资助课题。

作者简介: 王云山(1954—), 男, 天津人, 教授, 博士, 主要从事激光材料加工和激光与材料相互作用理论及应用研究。

E-mail: wys0126@126.com

水平转盘承载能力的重型曲轴激光淬火不能采用立式方法。在五轴四联动通用激光加工机床上,设计了曲轴绕主轴线转动, x, y, z 轴联动程序, 在曲柄轴面上实现了激光网纹状淬火和单道激光熔覆。

2 运动轨迹分析

曲轴激光淬火, 立式放置时加工程序与缸套淬火类似, 即曲柄绕其轴心匀速转动的同时光斑沿 z 轴方向匀速运动, 在曲柄轴面上形成网纹或螺旋淬火带。卧式有偏心装置转动时, 曲轴激光淬火过程与立式类似^[1~3], 无偏心、绕主轴转动曲轴激光淬火需机床四轴联动, 另外曲轴激光熔覆也要求曲轴必须水平放置。图 1 是绕主轴转动曲轴激光淬火示意图。

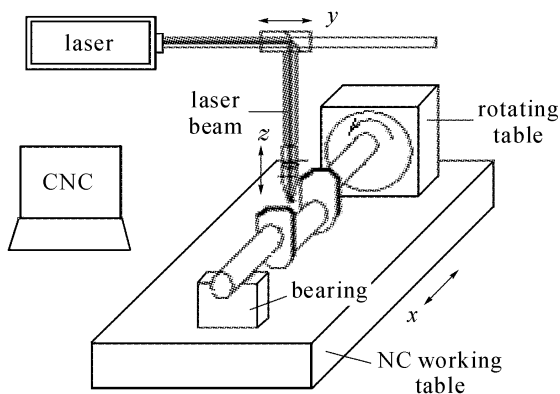


图 1 曲轴绕主轴转动激光淬火示意图

Fig. 1 Schematic diagram of laser quenching when crankshaft running around its principal axis

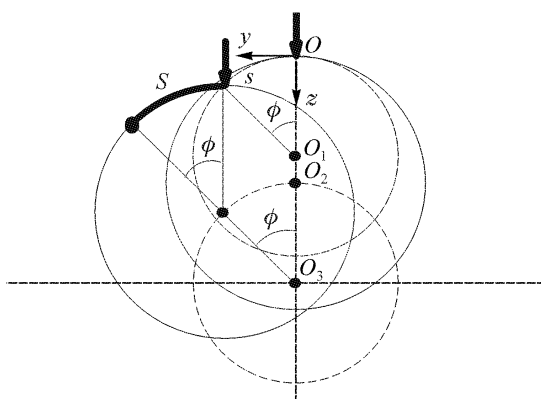


图 2 加工轨迹示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the processing track

图 2 是曲轴绕主轴转动, x 轴不动, 激光垂直作用于曲柄轴面上的加工轨迹示意图。其中 O_2, O_3 分别为曲柄轴和主轴的轴心, 曲柄轴半径 $r = \overline{OO_2}$, 曲柄轴与主轴的偏心距 $e = \overline{O_2O_3}$, 激光聚焦光斑初始位置在 O 点, 淬火过程中保持恒定离焦量。以 O 点为

原点建立 $yo z$ 直角坐标系。在此坐标系内, 曲柄轴面是以 O_2 点为圆心, 半径为 r 的圆(图中实线圆)。曲柄轴心轨迹是以 O_3 点为圆心, 半径为 e 的圆(虚线圆)。光斑运动轨迹是以 O_1 为圆心, 半径为 e 的圆(虚线圆)。粗实线圆弧是曲轴转过一定角度时曲柄轴面上的激光加工轨迹, 黑色箭头表示不同时刻光斑的位置, 由于激光光束垂直于轴面且平行于 z 轴, 又圆心距 $\overline{O_1O_3} = r$, 所以轴面上激光加工轨迹和光斑运动轨迹所对应的圆心角相等且等于主轴转过角度。

当主轴转过角度 ϕ 时, 设加工轨迹长度为 S , 光斑运动轨迹长度 s , 则

$$S = r\phi, \quad s = e\phi. \quad (1)$$

光斑运动轨迹方程为

$$y = e\sin\phi, \quad (2)$$

$$z = e(1 - \cos\phi). \quad (3)$$

激光淬火和激光熔覆一般要求光斑相对工件表面匀速移动, 根据(1)式有

$$V = \frac{dS}{dt} = r \frac{d\phi}{dt} = \text{constant}, \quad (4)$$

式中 V 表示光斑相对工件表面的移动速度。(4) 式表明工艺要求主轴匀速转动。设主轴以角速度 ω 匀速旋转, 此时光斑的移动速度为

$$V = r\omega, \quad v = e \frac{d\phi}{dt} = e\omega, \quad (5)$$

$$v_y = \omega e \cos\omega t, \quad (6)$$

$$v_z = \omega e \sin\omega t, \quad (7)$$

其中 v, v_y, v_z 分别表示光斑移动的线速度和沿 y 轴, z 轴移动的分速度。

以上计算表明曲轴主轴匀速转动, 光斑坐标 y, z 分别按余弦和正弦规律(2), (3)式运动时, 得到激光与轴面作相对匀速运动。

西门子 802D 四轴联动激光加工通用机床能实现 y 轴, z 轴及 x 轴位置联动, 在联动过程中合成速度 F 保持不变, 不能实现联动过程中 z 轴, y 轴的一般函数运动。但是, 由于光斑轨迹是由(2), (3)式所确定的圆, 对圆上一段弧用圆弧插差补方式使光斑由起点移到终点, 则光斑坐标满足(2), (3)式, 分速度满足(6), (7)式, 合成速度 $v = e\omega$ 为常数。与(5)式对照可知, 此时光斑相对工件表面的移动速度是常数 $V = r\omega$ 。

由于每条螺旋线对应 $yo z$ 平面上轨迹圆上一段圆弧, 张角相等, 所以用圆弧插补方式确定插补进给后可实现转动轴匀速转动的同时, x, y, z 轴联动完成

一条淬火螺线。对应的程序段为

$$\begin{aligned} N10 \quad A &= -\Delta\phi, \quad G3 \quad AR = \Delta\phi, \\ z &= e^* (\cos R_2 - \cos R_3), \\ y &= e^* (\sin R_3 - \sin R_2), \quad x = lF, \end{aligned} \quad (8)$$

式中 R_2, R_3 分别为螺线起始点和终止点对应的角度, $\Delta\phi$ 为螺线对应的张角, $\Delta\phi = R_3 - R_2$, l 为曲柄轴长度, F 为合成速度。

根据激光熔覆的搭接量, 用类似的方法可确定相应的激光熔覆程序段。

3 实验及结果

实验用 TJ-HL-T5000 CO₂ 激光器及与之配套的西门子 802D 数控四轴联动通用激光加工机床, 立式转台和自制轴承支架可随数控工作台沿 x 轴方向移动, 如图 1 所示。加工的曲轴长 1700 mm, 主轴颈直径 130 mm, 曲柄轴颈直径 130 mm, 与主轴偏心距 60 mm。图 3 为实物图片。

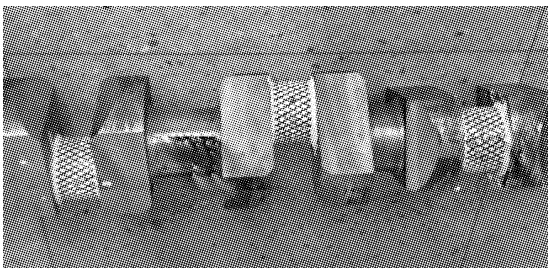


图 3 重型曲轴照片

Fig. 3 Photograph of the heavy crankshaft

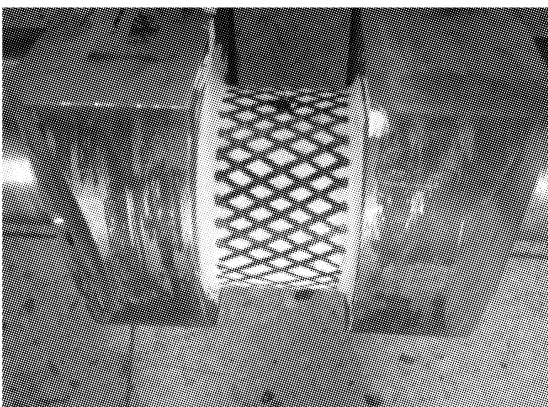


图 4 激光淬火的重型曲柄轴照片

Fig. 4 Photograph of the heavy crank quenched by laser

曲轴材料为 45# 钢, 激光淬火前正火处理, 硬度约 200HBS。采用主轴旋转编程方式一次装夹完成了一根曲轴上三个曲柄轴激光淬火。为提高激光吸

收率, 轴面预涂白色吸光剂, 激光功率为 1200 W, 光斑直径为 3.5 mm, 扫描速度为 15 mm/s, 激光淬火带按网格状设计, 淬火硬度 50 ± 2 HRC, 深度约为 1 mm, 满足图纸设计要求。图 4 为淬火曲柄轴照片。

4 结 论

1) 按网纹淬火的工艺要求, 推导了在曲轴主轴匀速转动条件下激光作用于曲拐表面形成螺线时光斑轨迹方程和扫描速度公式, 给出了编程方法。

2) 在西门子 802D 四轴联动激光加工通用机床上实现了曲轴水平放置绕主轴转动对曲柄轴面的网纹激光淬火和激光表面熔覆。

3) 定位不需要配重铁, 工作过程稳定, 可以一次装夹。不需要再改变曲轴回转中心, 即可完成单拐或多拐曲轴的主轴和曲柄轴的激光淬火和激光熔覆。

参 考 文 献

- Zhang Wei, Yao Jianhua. Research of repairing the abraded shafts using laser overlaying welding technology [J]. *Applied Laser*, 2004, **24**(6):342~344, 338
张伟, 姚建华. 海水泵轴激光修复试验研究[J]. *应用激光*, 2004, **24**(6):342~344, 338
- Zhou Jianzhong, Hua Yinqun, Yang Jichang *et al.*. Study on the laser hardening technology for a crankshaft of nodular iron [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2001, **32**(3):109~112
周建忠, 花银群, 杨继昌 等. 球铁曲轴激光淬火强化技术研究[J]. *农业机械学报*, 2001, **32**(3):109~112
- Chen Ruifang. Study on laser quenching of crankshaft [J]. *Machine Manufacturing and Automatization*, 2001, (6):24~25, 27
陈瑞芳. 曲轴激光淬火处理方法的研究[J]. *机械制造与自动化*, 2001, (6):24~25, 27
- Liang Erjun, Liang Huiqin. Study on the properties and phase transition in laser quenching and cladding layers by Raman spectroscopy [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(1):120~123
梁二军, 梁会琴. 激光淬火及熔覆层性能与物相变化的拉曼光谱研究[J]. *中国激光*, 2006, **33**(1):120~123
- Hua Yinqun, Yang Jichang, Zhang Yongkang *et al.*. Study on the experiment of laser quenched + shocked processing ductile iron QT800-2 [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(7):655~658
花银群, 杨继昌, 张永康 等. 激光淬火 + 冲击复合强化处理 QT800-2 的实验研究[J]. *中国激光*, 2003, **30**(7):655~658
- Song Jianli, Deng Qilin, Hu Dejin *et al.*. Microstructure characterization and properties of laser cladding forming 316L stainless steel [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(10):1441~1444
宋建丽, 邓琦林, 胡德金 等. 激光熔覆成形 316L 不锈钢组织的特征与性能[J]. *中国激光*, 2005, **32**(10):1441~1444