

文章编号: 1001-3806(2010)06-0812-04

凸轮激光淬火热处理运动分析

蔡汉明, 张玉芳, 刘中博

(青岛科技大学 机电工程学院, 青岛 266061)

摘要: 为了实现凸轮表面的激光淬火, 根据凸轮淬火获取均匀硬化层的3个实现条件, 结合激光加工机床的运动形式, 采用建立激光淬火过程中激光束与凸轮表面之间相对运动数学模型的方法, 对激光头的运动进行了理论分析及算法研究, 从而得出 X, ω, B 3轴运动的计算公式。结果表明, 凸轮的激光淬火热处理运动是可控可行的, 这为复杂工件的加工奠定了一定的理论基础。

关键词: 激光技术; 凸轮淬火; 运动控制; 激光淬火; 轨迹

中图分类号: TN156.99 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.06.025

Motion analysis of cam with laser quenching heat treatment

CAI Han-ming, ZHANG Yu-fang, LIU Zhong-bo

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao University of Science & Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: In order to realize the laser quenching heat treatment of cams, according to three preconditions for getting uniform hardened layer, combining with movement forms of laser processing machines, the mathematical models of relative movement were established about laser beam and the cam surface in the laser quenching process. the theoretic analysis and algorithm research were carried out for the laser head's movement, and the formulas of X, ω, B three-axis motion were derived. The result shows that the laser quenching heat treatment of the cam can be controlled feasibly, and it lays a theoretical foundation for the process of complex parts.

Key words: laser technique; cam quenching; motion control; laser quenching; track

引言

在机械行业中, 由于凸轮机构能够实现复杂的运动规律或产生复杂的运动轨迹, 并且还具有高速运转时, 平稳性好、重复精度高、运动特性良好等优点, 使得凸轮机构在各种自动机械中得到了广泛的应用^[1]。为了提高凸轮表面硬度进而延长其使用寿命, 用激光淬火技术来实现凸轮表面硬化是一种较好的选择。

激光淬火的功率密度高, 冷却速度快, 不需要水或油等冷却介质, 是清洁、快速的淬火工艺。与感应淬火、火焰淬火、渗碳淬火工艺相比, 激光淬火淬硬层均匀, 硬度高(一般比感应淬火高 1HRC ~ 3HRC), 工件变形小, 加热层深度和加热轨迹容易控制, 易于实现自动化^[2]。同时, 激光淬火也存在一些问题, 主要是激光加工系统的运动控制能否实现。现有的激光加工系统使用的是通用数控机床的控制系统, 只能对直线、圆

弧或者特定曲线轮廓的工件进行加工, 无法完成对任意曲线轮廓的工件进行激光热处理。运动控制的研究成为当务之急。

1 激光加工机床运动形式

激光淬火中需确定的工艺参量为激光功率 P , 光斑尺寸 D 和扫描速率 v 。三者与工件表面吸收的热量 Q 存在如下关系^[3]:

$$Q \propto \frac{P}{D \cdot v} \quad (1)$$

要实现激光淬火过程中热效应时时相等, 从而得到均匀硬化层, 可以采取改变激光功率、扫描速率或光斑尺寸大小等措施, 而这些工艺参量的改变^[4-5]又可以通过运动控制来实现。

机床运动形式见图1。Y轴是光轴方向, 导光头可在Y轴水平运动, Z轴垂直于Y轴, 导光头在Z轴上作上、下运动, 工件安放在长轴工作台上, 长轴工作台为X轴, X轴与Y轴, Z轴都垂直^[6]。回转台为 ω 轴, 可使工作台水平面内旋转, 另外还有一可加工曲轴的V轴(可调偏心), 及导光头可水平偏转的B轴。

采用该机床可实现凸轮的激光淬火加工: 调整导

作者简介: 蔡汉明(1960-), 男, 教授, 主要研究方向是CAD/CAM技术。

E-mail: cadm60@163.com

收稿日期: 2009-12-24; 收到修改稿日期: 2010-01-28

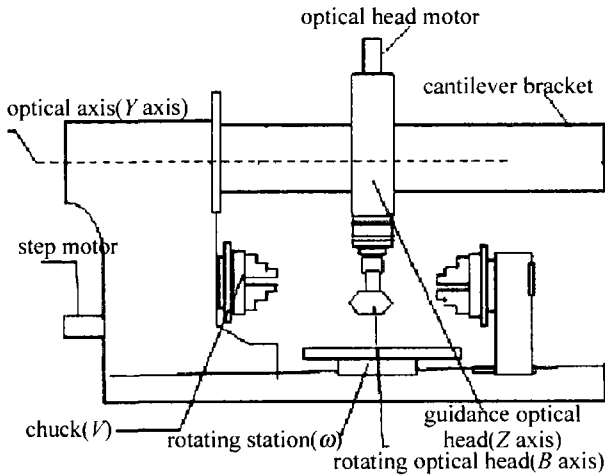


Fig. 1 The basic structure of machine tools

光头在悬臂(Y轴)上水平运动、工作台在X轴水平运动以及激光头沿Z轴上下运动,确定激光扫描起点^[7]。激光淬火过程中,工作台的X轴、回转台的 ω 轴和旋转光头的B轴同时运动,3轴联动可完成凸轮的激光淬火。

2 建立相对运动的数学模型

要使凸轮表面得到均匀硬化层,在激光淬火过程中必须满足的3个条件^[8]:激光聚焦镜中心到凸轮表面的距离不变;激光束始终垂直凸轮轮廓面入射;凸轮表面相对扫描速率恒定。现以获取均匀硬化层的3个实现条件为研究目标,建立激光束和凸轮之间相对运动的数学模型,确定凸轮激光淬火运动控制轴坐标的坐标的计算公式。

2.1 激光聚焦镜中心到凸轮表面的距离不变

为保证凸轮表面各点到激光头始终等距,需对工作件2维图形做等距线处理。凸轮原始曲线均可做折线处理,即根据逼近的精度要求,以合适的步距(Δt)将曲线离散化,如图2所示。离散后即成为折线。当原

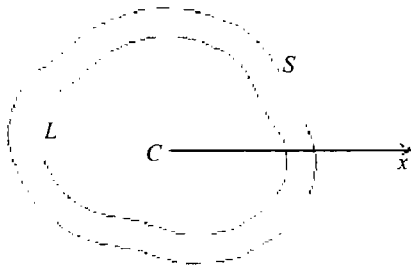


Fig. 2 The profile curve and the equidistance line of cam

始线是折线时,等距线可用“推平行线”法产生。若原始线L是任意参量曲线 $C(t)$ ^[9],则理论上其等距线的数学表达式为:

$$C_0(t) = C(t) \pm [d \cdot n(t)] \quad (2)$$

式中, t 为曲线参量, d 为等距线偏离(法线方向)原始线的距离, $n(t)$ 为曲线在 t 处的单位主法矢量,其方向

指向凹曲线的一侧。式中的正号或负号取决于等距线的偏离方向。当等距线偏离方向与主法矢量同向时取正号,反之取负号。

2.2 激光束垂直凸轮轮廓面入射

采用激光扫描步距(激光在凸轮轮廓曲线上扫描时从这一点到下一点的距离)将激光扫描路径曲线离散化,然后提取扫描轨迹曲线上的点集数据。

保持激光束始终沿凸轮法线方向入射是保证激光扫描过程中的热效应时时相等的必要条件。激光光束位置即工件表面轮廓的法线方向矢量很难精确算出,由于加工中步距很小,实际加工中可选用两个邻近节点的中垂线代替激光光束的方向。沿激光淬火方向连续取3个等分点 P_1, P_2, P_3 ,得两个直线段 P_1P_2, P_2P_3 ,直线段中点分别取点 M_0, M_1 ,此中点为激光扫描点, P_1P_2, P_2P_3 中垂线分别为 K_1, K_2 。同时 P_1P_2, P_2P_3 可以看作是激光头路径曲线在点 M_0, M_1 处的切向矢量, K_1, K_2 可看作是在点 M_0, M_1 处的法向矢量。在激光淬火处理凸轮表面时,激光束的方向就是中垂线 K_1, K_2 的方向,激光头的初始方向 K_1 ,下一位置时沿方向 K_2 。下面将凸轮轮廓曲线分成外凸和内凹两种情况进行讨论。

凸轮轮廓曲线为外凸时,构建数学模型如图3所示, O 为坐标原点。工件顺时针转过 $\angle C$,那么激光头转向相对工件则为逆时针转过 $\angle C$ 。激光束相对凸轮工件旋转的初始位置 K_1 ,下一位置为 K_2 ,但在扫描过程中激光扫描的整个过程反映在几何图形上就是:工件顺时针转过 $\angle C$ 后,直线段 P_2P_3 ($P_2'P_3'$)中垂线的方向记为 K_2' , K_1 与 K_2' 之间的夹角 $\angle B_1$ 与激光头的转角 $\angle B$ 在数值上相等,规定逆时针旋转为正,那么 $\angle B_0 = \angle B$ 。也就是说激光头从一点到下一点的扫描过程中,激光头需要转动一个角度才能保证激光束始终沿法线方向入射。

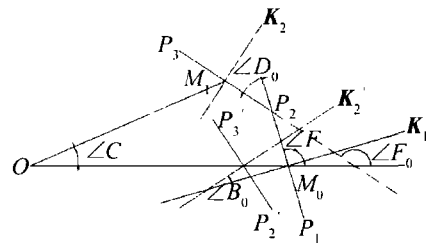


Fig. 3 Schematic of mathematical model of the convex cam curve

由图3中几何关系对 $\angle B$ 进行计算得: $\angle B = \angle D_0 - \angle C$, $\angle D_0$ 是 P_1P_2, P_2P_3 的夹角,只有大小。 $\angle D$ 是 P_1P_2 与 P_2P_3 夹角中的锐角,当夹角为 P_1P_2 逆时针转到 P_2P_3 时为正角,夹角为 P_1P_2 顺时针转到 P_2P_3 时为负角。此处 $\angle F$ 和 $\angle F_0$ 分别是由X轴的正方向逆时针旋转到 P_1P_2, P_2P_3 的角度,由图3中可得:

$$\begin{aligned}\angle D &= \angle F_0 - \angle F, \angle D = \angle D_0, \\ \angle B &= \angle D - \angle C\end{aligned}\quad (3)$$

同理,凸轮轮廓曲线为内凹时,仍然可得 $\angle B = \angle D - \angle C$ 。

由此推知, $\angle B$ 跟 $\angle C$ 和 $\angle D$ 有关,即激光头的转角与凸轮工件的周向转角和凸轮轮廓曲线上直线的角度变化有关。 $\angle C$ 和 $\angle D$ 很易算出,那么激光头的转角即可算出。

2.3 凸轮表面相对扫描速率恒定

为保证激光扫描过程中的热效应时时相等,还要求激光光斑在凸轮轮廓曲线的切向速度 F 的大小为恒定值^[10]。在激光淬火过程中可以将光斑看作定点,让凸轮上的各个点依次通过光斑。若选取的直线段通过光斑所用时间均相等,并且各直线段的长度相等,这样就保证了激光光斑相对凸轮表面扫描速率恒定。

选取凸轮上相邻两点 P_1, P_2 ,两点间的直线段距离是激光扫描步距 p , X 轴方向的直线速度为 F_x ,激光沿轮廓曲线的切向速度为 F ,凸轮的转速为 $\omega(t)$, $\angle C$ 是激光束每走一个激光步距凸轮转过的角度, ΔX 是激光束每走一个激光步距凸轮工件在 X 轴的位移量, t 为一个步距激光扫描所用时间(后面有计算 $\angle C$ 和 ΔX 的计算公式):

$$F = \frac{p}{t} \quad (4)$$

$$\omega(t) = \frac{C}{t} \quad (5)$$

$$F_x = \frac{\Delta X}{t} \quad (6)$$

3 X, ω, B 轴运动算法

凸轮激光淬火的运动控制通过 X, ω, B 轴运动实现,分析计算 X, ω, B 3个运动坐标轴是实现运动控制的理论基础。

3.1 X 轴

如图3所示,提取 P_1, P_2, P_3 三等分点的数据库信息,得到3点的坐标值,根据 P_1, P_2, P_3 3点的坐标值可以求得 M_0, M_1 两中点的坐标值。 M_0, M_1 点记为凸轮激光淬火扫描点,那么,激光束相对凸轮表面轮廓曲线从 M_0 点扫描到点 M_1 时,凸轮工件在 X 轴正方向移动的距离 ΔX 为: $\Delta X = OM_1 - OM_0$,坐标原点 O 到中点 M_0, M_1 的距离 OM_0, OM_1 很容易求得^[6],所以 ΔX 值也易求得。

激光束沿凸轮轮廓曲线扫描1周时,凸轮工件在 X 轴正方向移动的距离 ΔX 分析如下:根据以上中点 M_0, M_1 ,可以类推选取中点 M_0, M_1, \dots, M_n ,即为激光

束扫描点。当激光束相对凸轮表面轮廓曲线从 M_1 点扫描到 M_2 点时, P_1, P_2, P_3 3点被 P_2, P_3, P_4 代替, M_0, M_1 中点被 M_1, M_2 中点代替,凸轮工件在 X 轴正方向移动的距离 ΔX 为: $\Delta X = OM_2 - OM_1$,如此类推:

$$\Delta X = OM_n - OM_{n-1} \quad (7)$$

激光束每扫描过一点时,凸轮工件在 X 轴正方向移动的距离为 $\Delta X, \Delta X$ 为相对坐标值。

3.2 ω 轴

ω 轴运动也就是凸轮工件在 $X-O-Y$ 平面内绕坐标原点 O 周向旋转角为 $\angle C$ 的运动。激光束相对凸轮表面轮廓曲线从 M_0 点逆时针扫描到 M_1 点时,工件顺时针转过 $\angle C$,设沿 X 轴正方向逆时针旋转与 OM_0, OM_1 的夹角分别为 $\angle C_1, \angle C_2$,如图4所示,那么凸轮工件

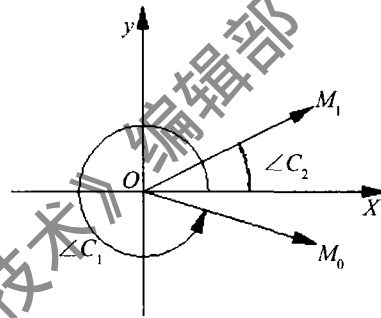


Fig. 4 Schematic of calculation of $\angle C$

相对转角为: $\angle C = \angle C_2 - \angle C_1$, $\angle C_1$ 和 $\angle C_2$ 易求得,所以凸轮工件的转角可求。激光束沿凸轮轮廓曲线扫描1周时,凸轮工件的转角同上可得:

$$\angle C = \angle C_n - \angle C_{n-1} \quad (8)$$

激光束每扫描过一点时,凸轮工件在 $X-O-Y$ 平面内绕坐标原点 O 周向旋转角为 $\angle C, \angle C$ 是相对角度值。

3.3 B 轴

在激光束沿凸轮工件法线方向入射的分析中,得出了激光头转角与直线段的位置矢量和凸轮工件 ω 轴运动的关系见(3)式,并且 $\angle D = \angle F_0 - \angle F$ 。其中, $\angle F$ 和 $\angle F_0$ 分别是 X 轴的正方向逆时针旋转到 P_1P_2, P_2P_3 的角度。

在求解 $\angle D$ 时,要考虑过象限问题。比如激光头扫描的凸轮表面轮廓曲线由第3象限经过第4象限时,直线段 P_1P_2 和 P_2P_3 分别在两个象限,如图5所

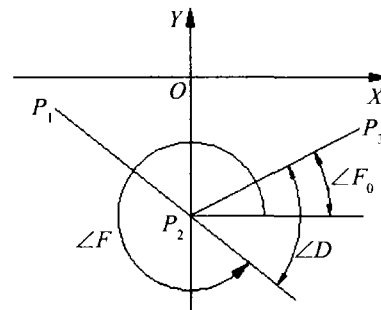


Fig. 5 Schematic of calculation of $\angle D$

示。由于 $\angle D$ 是 P_1P_2 与 P_2P_3 夹角中的锐角,当夹角为 P_1P_2 逆时针转到 P_2P_3 时为正角,夹角为 P_1P_2 顺时针转到 P_2P_3 时为负角。所以 $\angle D$ 不再等于 $\angle F_0 - \angle F$ 。此时:

$$\angle D = \angle F_0 - \angle F + 360^\circ \quad (9)$$

因为实际激光加工中选取激光步距很小,所以 X, ω, B 轴运动计算公式的计算与推导都是在直线段很小、转角很小的情况下成立的。

4 结论

从实现凸轮均匀硬化的3个条件出发,对如何实现激光淬火过程中的运动进行了分析。首先从整体上确立运动控制总方案,即确定3轴联动;然后从曲线拟合、曲线的离散化、等距线的产生和数据提取等,推导出保证激光头与凸轮工件等距,激光束沿凸轮工件法线方向入射,激光头在凸轮工件表面的扫描速率一致的实现方法;进而计算出 X, ω, B 这3轴的计算公式。对凸轮激光淬火过程中的运动轨迹分析为复杂轮廓曲线的工件加工奠定了一定的理论基础,扩大了激光的应用范围。

参 考 文 献

- [1] SHI Y G, WU Y F. Design and application innovation of cam mechanism[M]. Beijing: China Machine Press, 2007;1-18(in Chinese).
 - [2] ZHANG Y K, ZHOU J Zh, YE Y X. Laser processing technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004;106-122(in Chinese).
 - [3] ZHANG G Sh. Modern laser manufacturing technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006; 164-181(in Chinese).
 - [4] LEE S H, YANG Y S. Sensitivity analysis of processing parameters by direct differentiation method for laser surface hardening treatment[J]. Materials and Manufacturing Processes, 2001,16(3):353-374.
 - [5] SU H L, XU M, DU J W, *et al.* Study on laser heat-treatment process of number control machine-tools axle[J]. Hot Working Technology, 2008, 37(4):67-68(in Chinese).
 - [6] LI E L. Principle and application of numerical control technology[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006;117-120(in Chinese).
 - [7] WANG L J, WU M Y. CNC machining technology and equipment[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006;305-312(in Chinese).
 - [8] WU G, SONG G M, HUANG W J. Influence of laser processing parameters on the case-depth and the hardness[J]. Laser Technology, 2007, 31(2):163-165(in Chinese).
 - [9] HILL F S, Jr. Computer graphics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006;601-675(in Chinese).
 - [10] HU Q W, YANG T P, LI P, *et al.* Fabrication and affecting factors of metallic parts by means of laser freeforming[J]. Laser Technology, 2007,31(4):403-405(in Chinese).
-
- (上接第735页)
- 析激光雷达后向散射信号,介绍了微分法识别云层法的运用,并着重分析了在出现多个峰值信号时,如何有效判断单层云和多层云,得出了云底、云顶、云峰和云层光学厚度等重要信息,并给出了2008年5月~6月两月间合肥云层变化趋势图、云底高度厚度分布图,最后将结果与云高仪 Vaisala, SAGE II 卫星数据进行了对比和验证,结果表明,和传统的阈值识别法和 Klett 消光系数法相比,微分识别云层法简便可行、可操作性强、判别误报率低,为今后利用多种雷达探测技术(偏振雷达、喇曼雷达)以获取更多的云层光学信息,如云粒子谱分布、云成分构成等研究提供了一定的理论基础和数据参考。
- 参 考 文 献
- [1] YANG Zh, LI Q, SUN D S. Study about atmosphere extinction coefficient based on 1064nm Mie scattering lidar[J]. Laser Technology, 2006,30(2):170-173(in Chinese).
 - [2] SHIV R P, WOLFGANG S, ALLAN C. Automated method for lidardetermination of cloud-base height and vertical extent[J]. Appl Opt, 1992,29(31):1488-1494.
 - [3] HAN D W, LIU W Q, ZHANG Y J, *et al.* A memorable glide window integral algorithm for retrieving cloud height[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2008,20(1):1-5(in Chinese).
 - [4] KLETT J D. Stable analytical inversion processing lidar returns[J]. Appl Opt, 1981,20(2):211-220.
 - [5] WALTER C, REINHOLD R. Cloud extinction profile measurements by lidar using Klett's inversion method [J]. Appl Opt, 1986, 25(17):2899-2907.
 - [6] MITRESCU C. Lidar model with parameterized multiple scattering for retrieving cloud optical properties[J]. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 2005,94(2):201-224.
 - [7] SIMPSON J, MCINTIRE T, JIN Zh H, *et al.* Improved cloud top height retrieval under arbitrary viewing and illumination conditions using AVHRR Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 72(1): 95-110.
 - [8] CHEN W N, CHIANG Ch W, NEE J B. Lidar ratio and depolarization ratio for cirrus clouds[J]. Appl Opt, 2002,41(30):6470-6476.
 - [9] PARAMESWARAN K, SUNILKUMAR S V B, KRISHNA M V. Lidar observations of high altitude cirrus clouds near the tropical tropopause[J]. Advances in Space Research, 2004, 34(4): 845-850.