

文章编号: 1001-3806(2012)03-0361-03

圆锥辊激光毛化加工研究

符永宏 高兴东 华希俊 潘国平 符昊
(江苏大学机械工程学院, 镇江 212013)

摘要: 在圆锥辊轧制带钢时,为了增强轧辊与带钢之间的摩擦力,采用对轧辊表面进行激光毛化的方法,对圆锥辊的激光毛化加工过程进行了分析研究,给出加工系统的硬件组成,介绍了加工系统的控制原理。由于在圆锥辊表面进行激光毛化属于变径加工,为了保证每个加工圆周处毛化点之间的点距不变,推导出每个加工圆周处圆周直径、总脉冲个数和分频系数等的计算公式,同时给出相应算法,解决了每个加工圆周处最后1个毛化点与第1个毛化点之间间距总是大于点距的问题。结果表明,在圆锥辊表面进行激光毛化,不仅增强了轧辊与带钢之间的摩擦力,同时还延长了轧辊的使用寿命。

关键词: 激光技术; 增大摩擦力; 激光毛化; 圆锥辊; 变径加工

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.03.019

Study on laser texturing on cone roller surface

FU Yong-hong, GAO Xing-dong, HUA Xi-jun, PAN Guo-ping, FU Hao
(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: When the strip steel is rolled by the cone rollers, in order to strengthen the friction force between the cone roller surface and the strip steel, the laser texturing (LT) technology on the cone roller surface is adopted. The LT technology on cone roller surface was introduced. The composition of the LT equipment was presented. The control principle of the LT equipment was given. Because the processing process of LT on the cone roller surface is a process of changing diameter, in order to gain the same distance between two adjoining LT dots on the same processed circle, the computational formulas of the diameter, the number of LT dots and the frequency division coefficient on every processed circle must be worked out. The formulas were provided which can solve the problem that the distance between the last LT dot and the first LT dot is larger than the usual. The practical application shows that the LT on cone roller surface enhances the friction force between the cone roller surface and the strip steel and extends the life of the cone roller.

Key words: laser technique; strengthen friction force; laser texturing; cone roller; changing diameter

引言

在散状物的输送中经常用到螺旋输送设备,螺旋叶片是螺旋输送设备的主要构件。目前世界上最先进的螺旋叶片成形工艺是圆锥辊连续辗轧成形^[1-4]。由于圆锥辊在轧制带钢时要求圆锥辊在带钢表面的运动形式为纯滚动,另外,圆锥辊在轧制带钢时处于高温、高压状态,极易引起轧辊的磨损,为了解决此问题,可以采取对圆锥辊表面进行激光毛化的方法。

激光毛化^[5-6]是指采用高能量、高频率的激光脉冲照射到金属材料表面对其实施预热和强化,聚焦后的激光脉冲入射到材料表面形成微小熔池,同时由侧吹装置对微小熔池施于设定压力和流量的辅助气体,使熔池中的熔融物按指定要求尽量堆积成规则分布的球冠状微形貌^[6]。这种新型表面结构是在不降低原材表面韧性的情况下,由无数微小均布的强化点对表面实行针轧,从而实现刚柔并济的表面结构。这种激光毛化表面不但强度高、韧性好,而且表面粗糙度均匀可控。经实验验证,毛化试样比未造型试样的摩擦系数明显增大。其原因是:由于激光毛化使得试样表面发生了改形改性,分布很多硬化点,这些硬化点增加了材料的剪切强度;激光毛化加工出的微凸体的犁沟效应明显,这两者造成了毛化试样的摩擦系数增大。另外激光毛化增强了材料的耐磨性,这是因为激光毛化是一个金属表面在激光高能量作用下的快速熔凝过程。由于熔化金属的快速凝固,使得重新凝固的金属

基金项目:江苏省科技支撑计划资助项目(BE2010060);江苏省科技成果转化专项资金资助项目(BA2010068);国家自然科学基金资助项目(51175233);江苏省高校科技成果转化推进基金资助项目(JHB2011-39)

作者简介:符永宏(1965-),男,工学博士,教授,主要从事润滑理论及激光应用技术的研究。

E-mail: fyh@ujs.edu.cn

收稿日期:2011-07-19;收到修改稿日期:2011-08-11

纤维结构转变为细小的马氏体组织。

由于激光毛化具有上述优点,国内外各研究机构为了增加轧辊与板料之间的摩擦系数和延长轧辊的使用寿命,纷纷开展对轧辊表面进行激光毛化的研究,但研究的重点都是针对普通轧辊^[7-9],对圆锥轧辊进行激光毛化的资料很少看到。由于圆锥轧辊的母线与其轴线成一定角度 α ,另外,对圆锥轧辊的加工属于变径加工,所以对圆锥轧辊进行激光毛化的难度更大。

1 激光毛化设备的硬件组成

对圆锥轧辊进行激光毛化的设备采用基于运动控制卡(MC8041A)的数控系统。该设备主要有激光器(laser generator)与光路部分、工作台部分、用于控制激光器和工作台的控制部分及辅助装置等几部分组成。该设备采用二极管抽运固体YAG激光器。

在对圆锥轧辊表面进行激光毛化时,选用的是工件旋转,激光头固定的加工方案。该激光毛化设备工作台部分由回转工作台 θ 轴与2维数控精密工作台X-Y组成。回转工作台置于2维移动工作台之上,由3爪卡盘夹持圆锥体作正反方向的旋转运动。为了满足较高的定位要求及反馈工件转过的位置,在回转工作台的内部同轴方向安装了一个高精度的增量光电编码器。2维数控精密工作台固定在底座上,由伺服电机经滚珠丝杠带动整个回转工作台作x方向和y方向的正反直线运动。激光头固定在z轴上随z轴作上下直线运动。加工示意图如图1所示。

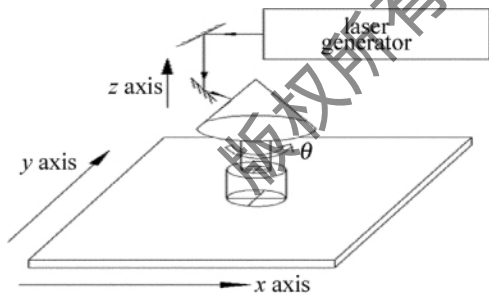


Fig. 1 Laser texturing schematic diagram of cone roller

2 激光毛化设备控制原理

该激光毛化设备控制部分由工控机(industrial computer)、运动控制卡(MC8041A)和自行设计的激光调Q控制卡(laser adjusting Q control card LAQCC)共三部分组成。工控机通过计算机总线实现与运动控制卡和激光调Q控制卡的通讯。四轴运动控制卡MC8041A实现对工作台的位置控制。激光调Q控制卡主要是对调Q开关的控制,从而实现对激光器的控制。由安装在 θ 轴上的光电编码器反馈的脉冲信号,经激光调Q控制卡倍频、计数、分频后输出激光控制

信号,从而实现激光触发时间和工件旋转时间的耦合。运动控制与激光控制的配合则主要由软件实现。辅助装置(光闸、气阀)由激光调Q控制卡外接继电器通过程序控制。图2为系统的控制原理图。

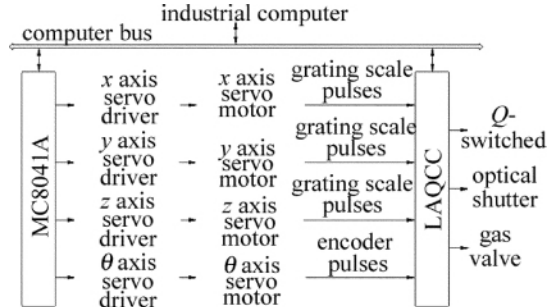


Fig. 2 Control principle diagram of laser texturing equipment

3 圆锥轧辊激光毛化反光镜角度计算

由于圆锥轧辊母线与其轴线成一定的夹角 α ,所以在对圆锥轧辊进行激光毛化加工时,为了避免所加工的毛化点成椭圆形,需要对反射镜与水平面的夹角进行调整,如图3所示。由图可知: $GE \parallel AD$, $EF \perp AB$, $ME \perp EH$, $\angle GEM = \angle MEF$, $\angle BAD = \angle DAC = \alpha$,所以, $\angle FJA = \pi/2 - \alpha$ 。

$\because GE \parallel AD, \therefore \angle GEJ + \angle FJA = \pi, \therefore \angle GEJ = \pi - \angle FJA = \pi/2 + \alpha; \because \angle GEM = \angle MEF, \therefore \angle MEF = 1/2 \angle GEJ = \pi/4 + \alpha/2, \therefore \angle FEH = \pi/2 - \angle MEF = \pi/4 - \alpha/2, \therefore \angle EHF = \pi/2 - \angle FEH = \pi/4 + \alpha/2; \therefore \angle AHI = \pi/2 - \alpha, \therefore \angle KHE = \pi - \angle EHF - \angle AHI = \pi/4 + \alpha/2$ 。故反光镜与水平面的夹角应设定为 $\pi/4 + \alpha/2$ 。

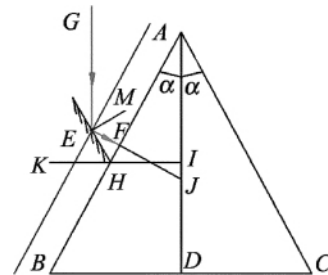


Fig. 3 Calculation diagram of optical reflector angle

4 圆锥轧辊激光毛化的加工过程

下面利用图4来说明在圆锥轧辊表面进行激光毛化是如何实现的。假设圆锥轧辊毛化起始位置为I处的圆周,首先对该圆周上的第0点进行激光毛化,然后工件的1点旋转到激光头部位,激光头发射激光脉冲。然后2点转到激光头部位,激光头再发射激光脉冲……依此类推,当19点加工完后,激光器完成了对该圆周上每一个毛化点的加工。然后激光头移动到II圈位置,对II圈的毛化点进行加工,直到所有的圆周都加工完为止。

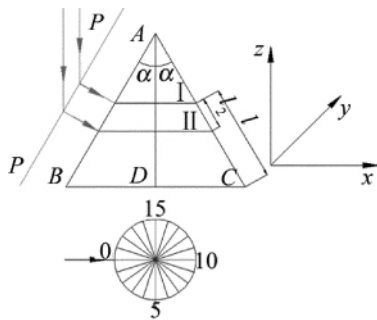


Fig. 4 Diagram of LT on cone roller surface

在圆锥辊激光毛化加工过程中,为了使被加工工件表面距激光头聚焦透镜的距离(沿光路)恒为焦距 f ,激光头移动轨迹应与圆锥辊转向轮廓线平行的一条直线,所以需要执行一个 x 和 z 两轴的直线插补,激光头相对于圆锥体需向下、向左移动,由于激光头和圆锥体之间的运动为相对运动,所以 z 轴电机需带动激光头向 $-z$ 方向运动, x 轴电机需带动工件向 $+x$ 方向运动。

5 圆锥辊激光毛化参量计算

由于在对圆锥辊表面进行激光毛化加工时,激光头每移动一次,所要加工的圆周直径就变化一次。为了保证每个加工圆周处毛化点之间的点距 l_1 (同一加工圆周处相邻毛化点之间沿圆周的距离)不变,就需要对每个加工圆周处的圆周直径、总脉冲个数、分频系数等重新计算。设初始加工处圆周直径为 d ,加工长度为 l (如图4所示),光电编码器旋转一周产生 P 个脉冲(经四倍频以后),则在圆锥体的圆周上共加工毛化点圈数为: $c = l/l_2 + 1$,取整。式中 l_2 为线距,即相邻两加工圆周沿圆锥母线的距离。

所以第 i ($0 \leq i < c$ 为整数)圈圆周直径为: $D_i = d + 2il_2 \sin \alpha$;第 i 圈毛化点个数为: $m_i = \pi D_i / l_1$,取整($i = 0, 1, 2, 3, \dots, c-1$);第 i 圈分频系数为: $\delta_i = \frac{P}{m_i} = \frac{Pl_1}{\pi D_i} = \frac{Pl_1}{\pi d + 2\pi i l_2 \sin \alpha}$,取整($i = 0, 1, 2, 3, \dots, c-1$)。

一般情况下 δ_i 不会为整数,如果按照 δ_i 分频的话,最后1个毛化点与第1个毛化点之间的间距将大于点距 l_1 。在这种情况下,可以设在 m_i 个激光脉冲中有 a_i 个按照 δ_i 分频, b_i 个按照 $\delta_i + 1$ 分频,则:

$$a_i + b_i = m_i \quad (1)$$

$$a_i \cdot \delta_i + b_i \cdot (\delta_i + 1) = P \quad (2)$$

可计算出 a_i 和 b_i ,且其值恒为小于等于 m_i 的整数。这样一来,就把最后一段总比 l_1 小的距离均匀地分配到前面 b_i 个脉冲当中去了。且当 δ_i 分频和 $\delta_i + 1$ 分频交替进行时,毛化点之间的间距会更均匀。

6 结束语

为了增加圆锥辊与带钢之间的摩擦力,采取对圆锥辊表面进行激光毛化加工的方法。作者对圆锥辊激光毛化过程进行了分析研究,给出加工系统的硬件组成,介绍了加工系统的控制原理。由于对圆锥辊表面进行激光毛化加工属于变径加工,为了保证每个加工圆周处毛化点之间的点距不变,文中给出每个加工圆周的圆周直径、总脉冲个数和分频系数的计算公式,同时解决了每一加工圆周处最后1个毛化点与第一个毛化点之间间距总是大于点距 l_1 的问题。经实际加工验证,毛化后的圆锥辊轧制出来的工件形状更符合实际需求,同时延长了辊的使用寿命。

参 考 文 献

- [1] JIANG X P, SHI W D, SHEN Y T, *et al.* The study state and expectation of the technology that the cone roller rolls the helical blade [J]. *Agriculture Study* 2007, 28(5): 243-245 (in Chinese).
- [2] LIU H X, FAN X B, WANG X. Research on theories of taper-rolling process of endless spirals and FEA simulation [J]. *Coal Mine Machine* 2007, 30(7): 35-38 (in Chinese).
- [3] LUO X B. The study of production technique of the helical blade [J]. *Machine and Hydraulic* 2004, 25(7): 79-80 (in Chinese).
- [4] LUO Sh J, HUO W C. Theories of rolling with conical roller [M]. Beijing: China Machine Press 2000: 1-21 (in Chinese).
- [5] DU D, HE Y F, SUI B, *et al.* Laser texturing of rollers by pulsed Nd:YAG laser [J]. *Journal of Materials Processing Technology* 2005, 161(7): 456-461.
- [6] SHI Y F. Study on the laser texturing and tribological properties of regular micro-morphology surface [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2011: 2-5 (in Chinese).
- [7] CAO G H, ZHAO W Sh, WANG Zh L, *et al.* The comparison of cold roller texturing technology [J]. *Electricity Process and Mould* 2002, 30(4): 32-36 (in Chinese).
- [8] ZHONG R T, WANG Y T, HUANG Zh J. Laser texturing technology and equipment for roller surface [J]. *Laser Journal* 2010, 31(6): 54-56 (in Chinese).
- [9] HE Y F, DOU D, LIU Y, *et al.* Parametric analysis of pulsed Nd:YAG laser texturing process [J]. *Laser Technology* 2003, 27(1): 8-10 (in Chinese).