

文章编号: 1001-3806(2012)04-0467-04

基于特殊激光微造型工艺的平面阵列加工研究

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: 为了使平面阵列激光微造型方法应用于工程技术领域,基于“单脉冲同点间隔多次”激光微造型新工艺,对平面阵列的加工方法进行了深入的分析研究,给出一种全新的扫描策略,对已有的加工方案进行了路径优化。由于采用该扫描策略进行“单脉冲同点间隔多次”激光微造型时,要求激光头对每行加工初始点进行精确定位,基于此,对工作台的定位问题进行了分析研究,给出了工作台精确定位流程图,并对该扫描策略的编程实现过程进行了分析研究,给出了路径优化后平面阵列加工过程流程图。结果表明,该扫描策略满足既定的“单脉冲同点间隔多次”激光微造型新工艺的加工要求,且能获得较好的微观形貌和表面质量。

关键词: 激光技术; 平面阵列; 路径优化; 工作台精确定位

中图分类号: TP29 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.04.009

Study on processing process of the planar array based on novel laser surface texturing technology

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

Abstract: In order to apply laser micro-forming planar array in engineering, the processing process of planar array was studied based on a novel laser surface texturing technology, so-called “single pulse one time, repeating at intervals”. A new scanning strategy was provided to optimize the path of the old processing method. Because high positioning accuracy was demanded for the starting processing point when the new scanning strategy was applied, the location problem of the workbench was studied and the accurate positioning flow chart was provided. Finally, the programming method of the new scanning strategy was studied, and the processing flow chart was given. The results show that the scanning strategy meets the requirements of the novel processing process and better micro-morphology and surface quality can be obtained.

Key words: laser technique; planar array; path optimization; accurate positioning of workbench

引言

在激光微造型时,由于单个激光脉冲的加工能量十分有限,传统的加工方法是在工件的同一个位置连续打出若干个激光脉冲。然而,激光加工一般是热熔性加工,对于金属材料,由于其优良的导热性能和相对较低的熔点,以及在加工时连续作用时间较长,一般情况下由于热影响的负面效应会产生微裂纹、金属重铸、残渣堆积、加工面粗糙等问题使加工面质量变差^[1]。

基于此,本课题组结合半导体抽运 YAG 激光器的声光调 Q 技术^[2-4],提出“单脉冲同点间隔多次”激光微造型新工艺,它解决了激光微造型时由于热影响所引起的各种负面效应的问题^[5]。

所谓“平面阵列”就是在平面上加工出按照一定规律排列的微观形貌。由于平面摩擦副广泛存在于各种工程机械中,为了减小摩擦、减少磨损,有时需要对其进行激光微造型。另外在其它领域,平面阵列也有着重要的应用,例如:在纺织机械中可以利用平面阵列加工出的小孔进行出丝;在流体机械中可以利用平面阵列加工出的微孔进行水质过滤;在微电子行业中为了得到按照一定规律排列的平面节点有时也需要对其进行平面阵列加工。要在平面上实现“单脉冲同点间隔多次”激光微造型新工艺,要解决的问题主要有两个:(1)如何使激光器发出单个激光脉冲的时间间隔与所打两点之间工作台运动所需时间进行耦合;(2)如何实现平面加工初始位置的精确定位。在已有的加工形

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);江苏省高校科研成果产业化推进项目资助项目(JHB2011-39)

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

E-mail: fyh@ujs.edu.cn

收稿日期:2011-07-27;收到修改稿日期:2011-11-11

式中,可以参加的只有圆柱形桶类零件(缸套内表面)的加工^[6-7]在平面上进行激光微造型尚属首次。

1 平面阵列加工方法

在对圆柱形桶类零件(缸套内表面)的加工中^[8],问题(1)的解决是通过将与缸套同轴连接的光电编码器的A、B信号引入到激光控制卡,由激光控制卡对光电编码器反馈的脉冲信号进行倍频、计数、分频,然后输出符合控制要求的激光脉冲信号,从而实现激光器发出单个激光脉冲的时间间隔与所打两点之间工作台运动所需时间进行耦合;问题(2)的解决方法是通过将光电编码器的z信号引入到激光控制卡,从而实现加工初始位置的确定。鉴于圆柱形桶类零件(缸套内表面)的加工,要在平面上实现激光微造型,问题(1)的解决方案可以设定为:由于在工作台x轴、y轴方向上安装有光栅尺,光栅尺所反馈的数字脉冲是对工作台机械位移的反映。可以将光栅尺输出的脉冲信号反馈到激光调Q控制卡,实现对激光脉冲周期性的关断和释放。这跟通过编码器反馈脉冲实现激光控制的方法有相似之处。问题(2)的解决方案为:可以寻找一种器件,当工作台移动到该器件位置时,该器件发出一个脉冲信号,将该信号送到激光控制卡,从而实现加工初始位置的确定。但采用这种方法对平面进行“单脉冲同点间隔多次”激光微造型时(见图1),当加工完1行后(即1、2、3、4、5、…、10加工完后),激光头必须回到初始位置,然后再从初始位置向后加工(即加工1'、2'、3'、…、10'),当完成加工次数后,激光头再回到初始位置,然后激光头向y轴负方向进给线距L₂,再从下一行初始点进行加工。由于这种方法每加工一次激光头都有一个空行程回到加工初始点,所以这种方法加工效率较低。另外,由于这种方法的加工初始位置是确定的,所以在工件装夹时需要精确定位。在圆柱形桶类零件(缸套内表面)的加工中,由于缸套本身为圆形,当加工完一圈中最后一个微坑时,紧接着就要加工该圈的第1个微坑,所以在对缸套的加工中不存在“空行程”的问题。另外,由于缸套的对称性,在加工圆周处的每一点相对于其它点的位置都是一样的,所以在工件装夹时不存在精确定位的问题。

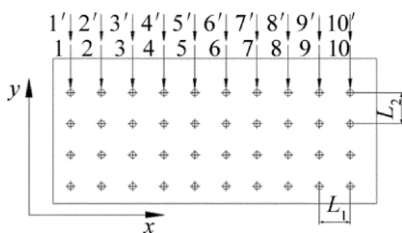


Fig. 1 One of the processing methods of planar array

2 平面阵列加工路径优化

下面采用另一种扫描策略对上述加工过程进行路径优化。可以通过工作台的精确定位来实现加工初始位置的确定,当到达该位置后,通过软件向激光控制卡发送一个表示加工初始位置的脉冲信号。这种加工方法的扫描策略是(见图2):当加工完1行后(即1、2、3、4、5、…、10加工完后),激光头向y轴负方向进给线距L₂,再从11点向x轴负方向加工(即加工点11、12、13、14、15、…、20),到达20点后,激光头再向y轴负方向进给线距L₂,然后再从21点向x轴正方向加工,直到把所有点都加工完(即完成1次加工),然后激光头再回到初始位置1处进行第2次加工,直到把所有的加工次数都加工完成。在此加工过程中,由于加工完一行后激光头没有空行程回到该行的加工初始点,所以这种扫描策略与第1种扫描策略相比,加工效率提高1倍。另外由于采用该扫描策略进行平面阵列加工时加工初始点可以随意设定,所以在工件装夹时位置柔性较大。但是,采用该扫描策略要实现“单脉冲同点间隔多次”激光微造型加工工艺,在此加工过程中,激光头需要对每行的加工初始点进行精确定位,所以,要求该激光微造型设备具有较高的重复定位精度,基于此,需要对该激光微造型设备的精确定位问题进行深入地分析研究。

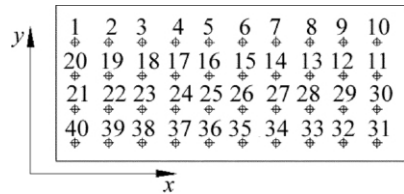


Fig. 2 Scanning strategy after path optimization

3 工作台精确定位研究

由于所采用的工作台为非理想工作台,在运行过程中必然会产生定位误差。当采用路径优化后的扫描策略进行激光微造型时,需要对激光头在每行的加工初始点进行精确定位。精确定位控制流程图如图3所示。其控制过程如下:使工作台先以实际运行距离运行(以下称之为初始运行),当初始运行结束后再对工作台进行精确定位。在初始运行结束后,为了使系统不产生振荡,可以采取下面的控制方法。设工作台实际运行距离为L,初始运行距离为L₁(由光栅尺读出)。当L₁=L时,运行结束;当L₁<L时,给伺服电机发一个脉冲信号使其沿原方向前进一步,然后读取实际运行距离L₁;如果L₁≥L,运行结束;如果L₁<L,给伺服电机再发一个脉冲信号使其沿原方向再前进一

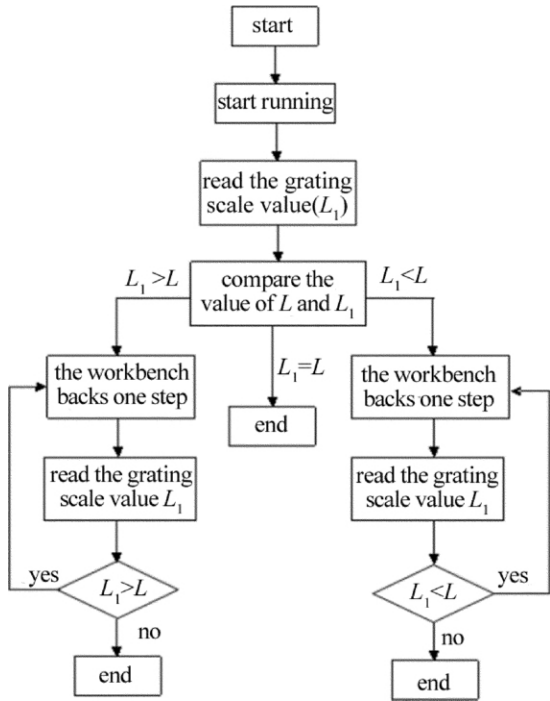


Fig. 3 Flow chart of accurate positioning of workbench

步 如此重复。在工作台初始运行结束后,如果 $L_1 > L$ 给伺服电机发一个脉冲信号使其沿反方向后退一步,然后读取实际运行距离 L_1 ,如果 $L_1 \leq L$ 运行结束;如果 $L_1 > L$,给伺服电机再发一个脉冲信号使其沿反方向再后退一步,如此重复。由于该激光微造型设备所选用的光栅尺是韩国东山公司生产的 JSS1L-500MM 光栅尺,分辨率为 $1\mu\text{m}$,伺服电机脉冲当量为 $0.5\mu\text{m}$ 。经计算,该控制算法定位精度为 $-0.5\mu\text{m} \sim 1.5\mu\text{m}$ 。由于激光微造型微坑直径在 $30\mu\text{m} \sim 40\mu\text{m}$ 之间,所以该控制算法满足“单脉冲同点间隔多次”激光微造型加工工艺的要求。

4 平面阵列加工的编程实现过程

在路径优化后的扫描策略中,从点 1 加工到点 21 的微造型过程可以被分成 6 步来实现(见图 4)。步骤 1:为了保证这一步骤能运行到该行最后一个微坑所在位置,可以将工作台实际应运行距离加大一些,例如加大 0.1mm ;步骤 2:工作台以线距 L_2 为实际应运行距离向下运行(初始运行),当初始运行结束后对工作台进行精确定位,其控制流程如图 3 所示;步骤 3、步骤 6:这两步的运行过程与步骤 2 相似,只是在初始运行前先从实际位置寄存器中读出工作台实际位置,然后计算出初始运行距离,之后就可以按图 3 所示流程进行运行;步骤 4:与步骤 1 的运行过程相似,只是运行方向不同;步骤 5:运行过程与步骤 2 相同,在此不再赘述。需要注意的是,在加工过程中应以 A 点为原点,对工作台实际位置进行计数,防止采用不同点对工

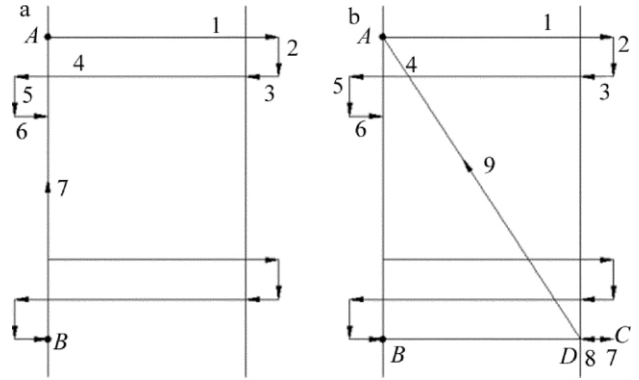


Fig. 4 Schematic processing diagram of planar array

作台实际位置计数时产生误差累积。

在程序编写时,可以把 1 2 3 4 5 6 步封装成一个循环项,然后利用此循环项从初始点 A 点向后加工。但在利用这个循环项进行加工之前,首先需要判断所要加工的微坑行数是奇数还是偶数,之后根据奇偶性的不同执行不同的操作。图 4a 所示为所要加工的微坑行数是偶数的情况,图 4b 表示所要加工的微坑行数是奇数的情况。当所要加工的微坑行数是偶数时,可以利用这个循环项从初始点 A 点加工到终止点 B 点,然后再从终止点 B 点回到初始点 A 点(即步骤 7)完成一次加工;当所要加工的微坑行数是奇数时(见图 4b),可以利用这个循环项从 A 点加工到 B 点,此时这个循环结束,然后再从 B 点加工到 C 点(即步

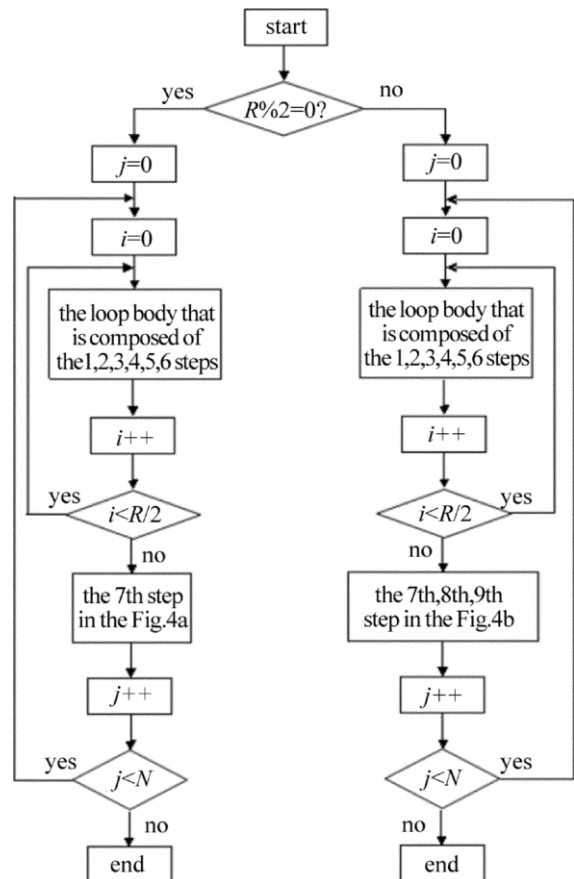


Fig. 5 Processing flow chart of planar array

骤7) 接下来激光头再从 C 点移动到 D 点(即步骤8), 之后再从 D 点回到 A 点(即步骤9) 完成一次加工。为了实现重复次数的加工, 可以在此加工过程的外面再套一个循环。平面阵列加工流程图如图5所示(图中 R 表示所要加工的微坑行数; N 表示重复次数; $R\%2$ 是判断加工微坑行数的奇偶性, 当 $R\%2=0$, 加工的微坑行数为偶数, 否则为奇数; $i++$ 表示由 1 2, 3 4 5 6 步封装成的循环项循环次数的累加; $j++$ 表示加工重复次数的累加)。图6为优化后的平面阵列扫描策略应用于机械密封环的实际效果图。



Fig. 6 Planar array applied in mechanical seal ring

5 结论

(1) 基于“单脉冲同点间隔多次”激光微造型新工艺, 对平面阵列的加工方法进行了深入的分析研究, 给出一种全新的扫描策略, 对已有的加工方案进行了路径优化。

(2) 工作台对每行加工初始点的定位精度是该扫描策略能否实现的决定性因素, 本文中对工作台的

定位问题进行了分析研究, 给出工作台精确定位流程图, 为平面激光微造型扫除了前进中的障碍。

(3) 程序的编写决定了该扫描策略能否应用于实践, 对该扫描策略的编程实现过程进行了分析研究, 给出加工过程流程图。实验表明: 该扫描策略满足既定的“单脉冲同点间隔多次”激光微造型加工工艺的要求, 能在工件加工表面获得较好的加工形貌。

参考文献

- [1] CHRISTOPHE V, GUY M, THIERRY B, *et al.* Control of the quality of laser surface texturing[J]. *Microsystem Technologies*, 2008, 14(2): 1553-1557.
- [2] VILHENA L M, SEDLACEK M, PODGORNİK B, *et al.* Surface texturing by pulsed Nd:YAG laser [J]. *Tribology International*, 2009, 42(1): 1496-1504.
- [3] YUAN R, FU Y H, WANG X, *et al.* Study on control of surface micro-texturing with Q-switched Nd:YAG laser [J]. *Applied Laser*, 2006, 26(1): 13-16 (in Chinese).
- [4] HUA X J, FU Y H, YUAN R, *et al.* Research on Nd:YAG laser micro-texturing of friction units [J]. *Lubrication Engineering*, 2007, 32(3): 27-30 (in Chinese).
- [5] XU D S, SHENG Z S, FU H, *et al.* Control method for novel process of laser micro-texturing [J]. *Journal of Applied Optics*, 2010, 31(2): 340-343 (in Chinese).
- [6] CAI L, FU Y H, YE Y X, *et al.* The application of laser honing in the treatment of cylinder surface [J]. *Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition)*, 2002, 23(1): 5-8 (in Chinese).
- [7] KANG X M, FU W P, HUANG W Q, *et al.* Numerical analysis of lubrication characteristics of laser texturing on motorcycle cylinder liner surface [J]. *Laser Technology*, 2010, 34(2): 227-231 (in Chinese).
- [8] XU D S. Research and development of laser honing equipment based on the special crafts of laser micro-texturing [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010: 10-25 (in Chinese).