

文章编号: 0258-7025(2009)04-0993-05

激光飞行标刻扫描幅面约束特性 及最大飞行速度性能分析

蒋 明¹ 蒋 毅²

(¹ 华中科技大学光电子科学与工程学院, 激光加工国家工程中心, 湖北 武汉 430074)
² 总后勤部装备研究所兵研中心, 北京 100088)

摘要 分析了激光飞行标刻过程的扫描幅面约束(SAL)特性以及影响最大飞行速度(MFV)性能的因素。研究了在同一扫描幅面约束下,工件进入扫描幅面的不同方位对最大标刻位移(MMO)值的影响,推导出匀速运动情况下最大飞行速度和最大标刻时间的计算公式,理论公式表明 MFV 与最大标刻位移成正比,与标刻时间成反比。对于竖向方位和横向方位进入扫描幅面的工件,采用先进入先标刻(FEFM)扫描算法进行了激光飞行标刻试验,在不同的标刻时间下得到的 MFV 实验结果和按照理论公式计算得到的 MFV 值吻合良好。

关键词 激光技术;激光飞行标刻;最大飞行速度;PC 控制

中图分类号 TN249;TN305.7 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL20093604.0993

Analysis of Scanning Area Limitation and Maximum Flying Velocity in Laser Flying Marking System

Jiang Ming¹ Jiang Yi²

(¹ National Engineering Research Center for Laser Processing, College of Optoelectronic Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China;
² Soldier Support System Center, the General Logistics Department of CPLA, Beijing 100088, China)

Abstract The scanning area limitation (SAL) and maximum flying velocity (MFV) in laser flying marking system are analyzed. Under the same SAL, the influence of graphics entering into the different direction of scanning area on the maximum marking offset (MMO) is studied. Under the condition of the uniform motion, the relationship between MFV and maximum markable time (MMT) as well as MMO is deduced. For the graphics entering scanning area horizontally and vertically, the experiment of laser flying marking using first entering first marking (FEFM) scanning algorithm is carried out. At different markable time, the experimental MFV value agrees well with theoretical ones.

Key words laser technique; laser flying marking; maximum flying velocity; PC-based control

1 引 言

激光高速振镜标刻技术已经广泛应用于电子芯片标记、汽车标牌、产品包装、服装纽扣标记等领域^[1],为满足生产线上大批量产品标记的需要而诞生的激光飞行标刻技术是激光高速振镜标刻技术的进一步发展,它通过在控制系统中增加运动跟踪模块实现对生产线速度的跟踪,在标刻过程中实时对标刻图形数据进行运动补偿,从而在不影响生产线工件运动状态下实现工件的激光在线标刻^[2,3],提高了生产线上产品标记效率,受到用户的欢迎,也成为激光标刻

领域研究热点。国内外许多知名企业都在持续研发推出激光飞行标刻新产品,国内研究机构还发表了相关研究成果^[4~8]。本课题组于 2001 年开始激光飞行标刻控制软件、硬件控制卡的技术研究,研制出激光在线飞行标刻机,重点介绍了对于激光飞行标刻控制卡硬件^[9,10]、激光飞行标刻点阵及矢量标刻模式^[2]以及开环、闭环运动跟踪技术^[3]等的研究。目前已发表的论文都是侧重于飞行标刻系统的部件技术和系统的实现方法,而对激光飞行标刻系统最重要的系统参数最大飞行速度性能的研究分析较少。本文将以前

收稿日期:2008-02-18;收到修改稿日期:2008-05-29

作者简介:蒋 明(1976-),男,讲师,博士研究生,主要从事激光先进制造技术、机器视觉、计算机图形图像处理方面的研究。E-mail:jm_china@263.net

量飞行标刻系统为例,研究激光飞行标刻过程的扫描幅面约束特性,推导出激光飞行标刻最大飞行速度的计算公式并进行标刻实验验证。

2 运动工件飞行标刻的扫描幅面约束特性

采用具有速度自适应跟踪能力的闭环运动跟踪模式的激光飞行标刻系统由激光器、高速振镜扫描

头、旋转编码器、PC 控制系统四部分组成。对于每一台激光飞行标刻系统,其振镜扫描幅面是由硬件(包括 DA 控制卡、振镜偏转角度以及透镜焦距)决定的一个固定区域,其坐标系为一个固定扫描坐标系 XOY 。而工件是随生产线运动的,工件上标刻图形点坐标是相对于运动的工件坐标系 UOW 上的,工件运动坐标系运动速度与生产线速度 v 相同(图 1)。

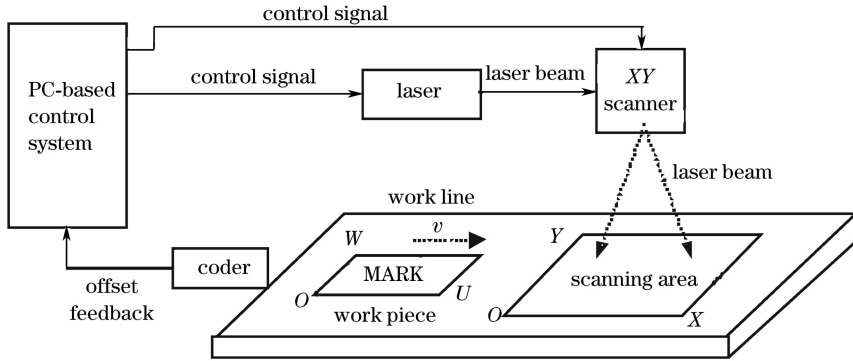


图 1 激光飞行标刻系统结构图

Fig. 1 Structure of closed-loop motion tracking flying mark system

要在运动的工件上按照设计的“MARK”图形位置标刻出指定的图形字符,必须等工件上标刻图形“MARK”部分或完全进入到扫描幅面 XOY 区域时才能开始进行标刻。如图 2 所示, t_1 时刻工件上的标刻图形“MARK”的最右端的一部分图形最先进入到 XOY 扫描区,此时为可进行标刻的最早时间,即 $t < t_1$ 的任何时刻标刻图形“MARK”处于 XOY 扫描幅面之外无法进行标刻。 t_2 为工件上的标刻图形“MARK”最后离开 XOY 扫描区域时刻,此时为可标刻的最晚时间, t_1 到 t_2 之间的工件位移记为 ΔS_{max} , 是该运动工件通过扫描幅面时最大可标刻位移(MMO), t_1 到 t_2 之间的时间段定义为最大可标刻时间(MMT),也称为通过时间。运动的工

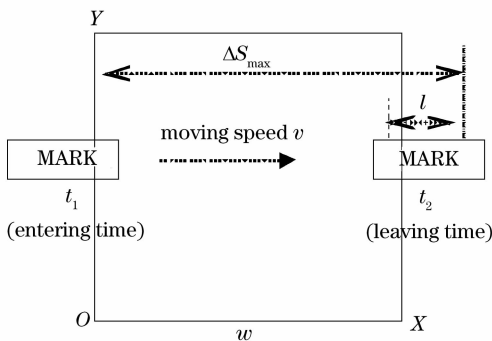


图 2 运动工件飞行标刻过程的扫描幅面约束特性

Fig. 2 Scanning area limitation in laser flying marking

件标刻全过程工件位移不超过最大可标刻位移,这个特性定义为激光飞行标刻过程的扫描幅面约束(SAL)特性。

工件进入扫描区域时标记图形与扫描幅面有横向(标记图形较长的方向)和竖向(较短的方向)两种方位,根据 SAL 特性分析定义,标刻图形以这两

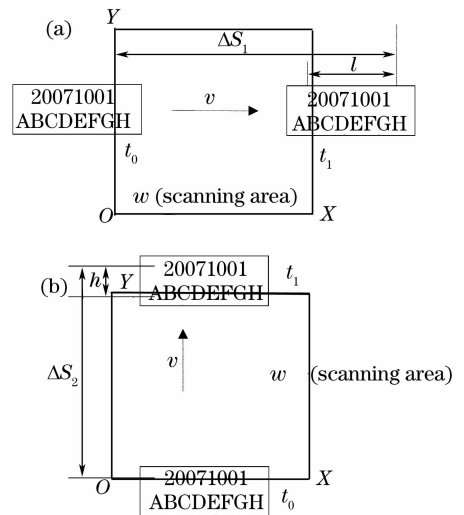


图 3 工件以横向方位(a)和竖向方位(b)进入扫描区域的幅面约束特性分析

Fig. 3 Analysis of SAL for marking graphics entering scanning area horizontally (a) and vertically (b)

种方位进入扫描幅面时 MMO 值是不一样的。以常见的标刻日期和字符的标记图形为例,如图 3 所示, ΔS_1 和 ΔS_2 分别为以横向方位和竖向方位通过扫描幅面内的工件位移, l 为标记宽度, h 为标记高度, w 为扫描幅面宽度。横向进入方式时 MMO 应为

$$\Delta S_{\max} = w + l, \quad (1)$$

竖向进入方式时 MMO 应为

$$\Delta S_{\max} = w + h. \quad (2)$$

比较(1),(2)两式,当 $l > h$ 时,横向进入方式将获得更大的 MMO 值。

3 激光飞行标刻最大飞行速度分析

激光飞行标刻过程受到振镜扫描幅面约束,同时标刻过程由于工件的运动,必须进行运动位移补偿才不会导致标刻变形^[1]。以标记“MARK”文字为例,当在 t_1 时刻启动标刻后,控制软件将 t_1 时刻标刻图形“MARK”上所有点在 UOW 运动坐标系上的坐标数据(U, W)变换成扫描坐标系 XOY 上的坐标(X_{t_1}, Y_{t_1}),由于各点标刻存在先后时序,当 t 时刻标刻 a 点时,由于工件在 t_1 到 t 期间发生了位移, a 点在扫描坐标系(X, Y)上的新的扫描位置应按下式进行运动补偿。

$$\begin{cases} X_{at} = X_{at_1} + \int_{t_1}^t v_{xt} dt \\ Y_{at} = Y_{at_1} + \int_{t_1}^t v_{yt} dt \end{cases} \quad (3)$$

实际应用中工件运动方向通常与 x, y 中某一轴调整一致,设定为与 x 方向一致。同时为方便定量计算飞行速度性能,恒定速度的运动补偿 $\Delta S_t = v_x \times \Delta t$, 则运动补偿公式可简化为

$$\begin{cases} X_{at} = X_{at_1} + v_x \times \Delta t \\ Y_{at} = Y_{at_1} \end{cases} \quad (4)$$

综合运动补偿公式和激光飞行标刻过程的扫描幅面约束特性分析,可以推导出在标刻“MARK”图形路径上所有点的过程中,进行运动补偿后的扫描坐标(X_{at}, Y_{at})均应该位于振镜扫描幅面 XOY 内,因此(2)式中需要满足 MMO 位移约束条件 $\Delta S_t \leq \Delta S_{\max}$ 。为方便定量计算分析速度性能,考虑匀速运动情况,有 $\Delta S_t = v_x \times \Delta t$, 当标刻时间 Δt 一定时,则得到最大飞行速度(MFV)

$$v_{x\max} \leq \Delta S_{\max} / \Delta t, \quad (5)$$

若飞行速度一定,则(5)式变换可得最大可标刻时间约束公式

$$\Delta t_{\max} \leq \Delta S_{\max} / v_x. \quad (6)$$

由(5)式可以看到,要获得更大的飞行速度,可以通过增加 MMO 值 ΔS_{\max} 和减少标刻时间 Δt 来实现。对于横向进入方位和竖向进入方位,将(1),(2)式代入(5)式可分别得到两种进入方位下最大飞行速度计算公式

$$v_{x\max} \leq (w + l) / \Delta t, \quad (7)$$

$$v_{x\max} \leq (w + h) / \Delta t. \quad (8)$$

4 激光飞行标刻最大飞行速度性能测试实验

以带编码器反馈的闭环跟踪模式激光飞行标刻系统作为实验平台,激光器采用典型的玻璃管式封离型纵向电激励 60 W CO₂ 激光器,XY 振镜扫描头采用国产世纪索尼 TS8306 型扫描振镜,扫描角度 $\pm 20^\circ$,其小步长阶跃响应时间达到 0.4 ms,扫描幅面 110 mm \times 110 mm。增量型旋转编码器采用欧姆龙 E6C2-CWZ6C,分辨率为 2000 脉冲/转,同步器滚轮圆周长为 6 cm,分辨率达到 0.03 mm。控制系统基于 PC WINDOWS 系统平台,CPU 主频 800 MHz,自行研制的基于 PCI 总线的带一路 PWM 激光脉冲功率控制输出、一路位移采集、两路 16 bit DA 的控制卡^[2,3]。自行设计的激光飞行标刻控制软件实现了标记图形方位的设定和自由的图形对象扫描路径设定。

在实验中先采用固定的标刻图形,通过设置矢量笔画扫描的中间停留延时的不同来改变标刻时间 Δt ,以测试对应的工件最大运动速度是否符合(5)式计算结果。标刻图形包含日期时间和字母两行内容,如图 4 所示,标记图形宽度 l 为 46 mm,高度 h 为 15 mm,单行字符高度 $h_1 = 6$ mm,字符宽度 $l_1 = 5$ mm,振镜扫描幅面宽度 $w = 110$ mm。首先让工件以竖向方位进入标刻区域,既标记图形随着工件运动的方向竖直向上,第一行数字先进入扫描幅面。按照(2)式计算得到 $\Delta S_{\max} = 125$ mm,实际标刻位移因启动时刻 t_0 的选择而稍小, $\Delta S = \Delta S_{\max} - h_1 = 119$ mm,完整标刻时间 Δt 通过设置线条扫描快慢参数从 0.3 s 到 0.6 s 变化,则按(5)式计算得到理论计算最大飞行速度,然后进行标刻实验测试实际最大飞行速度,理论计算和实验测试 MFV 对比结果如图 5 所示,在标刻时间 0.3 s 时 MFV 值为 23.5 m/min,在标刻时间 0.6 s 时, MFV 值为 11.6 m/min。

对同样的标记图形以横向方位进入扫描区域



图 4 激光飞行标刻实验标记图形

Fig. 4 Experimental graphics marking result

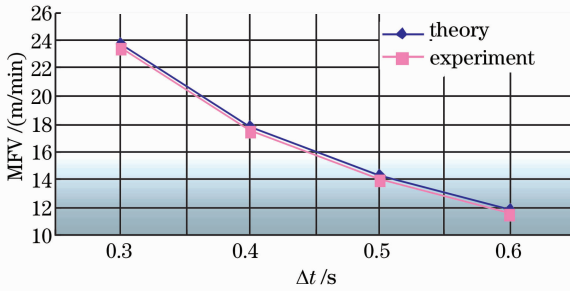


图 5 竖向方位进入激光飞行标刻最大飞行速度试验

Fig. 5 Maximum flying velocities of graphics entering scanning area vertically

应用先进入先标刻算法 (FEFM), 按照扫描幅面约束分析得到标刻位移 $\Delta S = w + l - 2 \times l_1 = 136 \text{ mm}$, 完整标刻时间 Δt 通过设置线条扫描快慢参数从 0.3 s 到 0.6 s 变化, 则按 (5) 式计算得到理论计算最大飞行速度, 然后进行标刻实验测试实际最大飞行速度, 理论计算和实验测试 MFV 对比结果如图 6 所示, 在标刻时间 0.3 s 时 MFV 值为 27 m/min, 在标刻时间 0.6 s 时, MFV 值为 13.5 m/min.

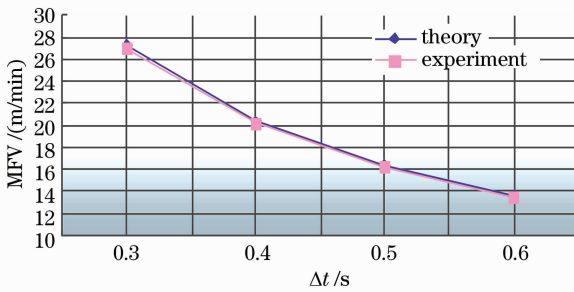


图 6 横向方位进入激光飞行标刻最大飞行速度实验

Fig. 6 Maximum flying velocities of graphics entering scanning area horizontally

从实验结果可以看到 MFV 值与理论计算吻合。理论分析和实验结果表明, 同一进入方位下, MFV 值与标刻时间近似成反比关系; 当工件以不同方位进入扫描区域时获得了不同的 MMO 值, 因而有不同的 MFV 性能曲线。在我们的标刻图形中横向进入方位时具有更大的 MMO 值, 因而得到更高的最大飞行速度性能。

5 结 论

由于激光飞行标刻中工件处于运动状态, 飞行标刻过程受到振镜扫描幅面约束, 振镜扫描幅面、标刻图形的大小、标刻图形对象进入扫描幅面的方位和扫描的先后顺序都会影响激光飞行标刻最大标刻位移并进而影响最大飞行速度性能。重点分析了 SAL 特性, 总结出 MFV 值的计算公式, MFV 与 MMO 值成正比, 与标刻时间成反比。分析比较了竖向方位和横向方位 FEFM 扫描算法下 MMO 值和 MFV 值的具体计算式, 并进行了激光飞行实验, 实验结果与理论计算值吻合良好。更多的研究工作还可以选用不同扫描幅面的振镜头和不同长度的图形来进行实验, 实验结果应同样吻合推导的公式 (5)。

参 考 文 献

- Bo Gu. Review - 40 years of laser marking - industrial applications [C]. *SPIE*, 2006, **6106**:610601
- Jiang Ming, Jiang Yi, Zeng Xiaoyan. Study of laser flying marking system[J]. *Optical Engineering*, 2007, **46**(9):09430
- Jiang Ming, Jiang Yi, Zeng Xiaoyan. Motion-tracing methods in laser flying mark system[J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(2): 199~202
蒋 明, 蒋 毅, 曾晓雁. 激光飞行标刻运动跟踪技术[J]. *中国激光*, 2007, **34**(2):199~202
- Guoshun Zhang, Jian Zhang, Kun Yan *et al.*. Application of PCI bus in high-speed laser marking system[C]. *SPIE*, 2002, **4915**:378~380
- Peng Fei, Zhang Lichao, Liu Bing. Research of one-dimensional scanning mirror upon laser flying-marking [J]. *Laser Journal*, 2007, **28**(1): 85~86
彭 飞, 张李超, 刘 冰. 一维扫描激光飞动标刻研究[J]. *激光杂志*, 2007, **28**(1):85~86
- Cai Bing, Liu Xiaodong, Tong Bo *et al.*. Study on laser flying marking systems based on DSP and CPLD [J]. *Laser Technology*, 2007, **31**(4):387~390
蔡 兵, 刘晓东, 童 博等. 基于 DSP 和 CPLD 的激光飞动标刻研究[J]. *激光技术*, 2007, **31**(4):387~390
- Li Cheng, Zhang Guoshun, Zhang Guizhong *et al.*. Investigation on correction technology in laser marking on the fly [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2006, **17**(11):1381~1383
李 成, 张国顺, 张贵忠等. 激光飞行打标校正技术研究[J]. *光电子·激光*, 2006, **17**(11): 1381~1383
- Zhao Yuefeng, Chen Xinghai, Zheng Yi *et al.*. Achievement for scanning project upon the mirror laser online-marking system [J]. *Applied Laser*, 2004, **24**(1):41~43
赵曰峰, 陈兴海, 郑 义等. 振镜式在线激光打标扫描方案的设计 [J]. *应用激光*, 2004, **24**(1):41~43
- Chen Ming, Hu Bing, Guo Fei *et al.*. Research of laser flying-marking software[J]. *Laser Journal*, 2003, **24**(3):64~65
陈 敏, 胡 兵, 郭 飞等. 激光飞动标刻软件研究[J]. *激光杂志*, 2003, **24**(3):64~65
- Jiang Yi, Jiang Ming. Parallel D/A converter AD7846 and its interface design[J]. *Global Electronics China*, 2004, (2):24~25

- 蒋 毅,蒋 明. 并行 D/A 转换器 AD7846 及其接口设计[J]. 世界电子元器件, 2004,(2):24~25
- 11 Jiang Yi,Zhou Hong,Jiang Ming *et al.*. Design of PC-based control card for laser marking system [J]. *Computer*

- Measurement & Control*, 2004,**12**(6):544~547
- 蒋 毅,周 宏,蒋 明等.基于 PC 的激光标刻系统控制卡设计 [J]. 计算机测量与控制,2004,**12**(6): 544~547

LD 抽运 Nd:YVO₄/SESAM 连续锁模激光器实现 5.7 ps,2.62 W 输出

上海光学精密机械研究所基于 Nd:YVO₄增益介质和反射式 SESAM 被动锁模技术,成功实现了 5.7 ps,2.62 W,105 MHz 的连续锁模脉冲输出。实验中抽运源是波长为 808 nm、芯径为 400 μm 的常规激光二极管(LD),Nd:YVO₄晶体尺寸为 3 mm×3 mm×5 mm,工作温度为 18 ℃,谐振腔为一个典型的 Z 型结构,腔长为 143.5 cm。激光束分两路输出,输出镜单次透过率为 4%。输入输出功率曲线如图 1 所示,其中 QML 为调 Q 锁模,CML 为连续锁模,当抽运功率为 7.35 W 时,输出功率达到 2.62 W。实验中发现,晶体中光斑尺寸和位置,以及 SESAM 上的光斑大小对锁模脉冲稳定性的影响非常重要,所以通过腔参数的优化来严格控制腔内振荡模式的特性,实现稳定的连续锁模运转。当抽运功率小于 2.91 W 时,激光器输出为调 Q 锁模,当抽运功率超过上述值时,激光器实现稳定的连续锁模运转。用快速响应光电二极管测得的锁模脉冲序列如图 2 所示,重复频率为 105 MHz,不同时段下测得的脉冲序列显示,激光器工作在严格的连续锁模状态。此时,用快速扫描自相关仪(FR-103XL,FEMTOCHROME. RESEARCH,INC)测得的自相关曲线如图 3 所示,通常设脉冲形状为高斯型,则对应脉冲宽度为 5.7 ps。

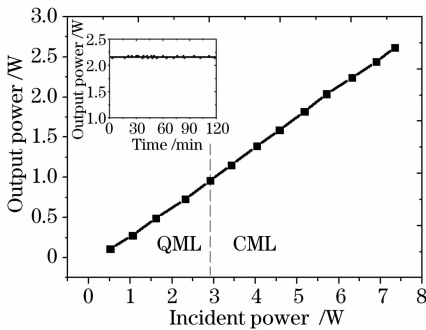


图 1 输出/输入功率曲线,内部插图为输出功率为 2.16 W 时激光器稳定性测量曲线

Fig.1 Dependency of average output power on incident power. The inserts is the measurement of stability at output power of 2.16 W

考虑到激光器的实用化发展,在输出功率为 2.16 W 的

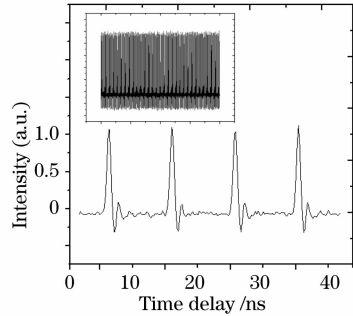


图 2 锁模脉冲序列,内部插图为不同时段下的锁模信号,说明输出为连续锁模脉冲

Fig.2 Mode locked pulse train in different time scale

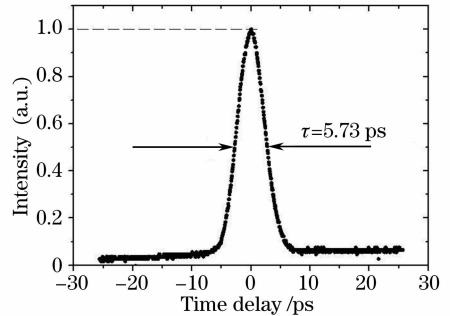


图 3 实验测得自相关信号曲线

Fig.3 Measured autocorrelation trace shows the pulse duration of 5.7 ps

条件下,测量了两小时的功率稳定性,如图 1 的内部插图所示,实验结果显示功率起伏小于±0.5%,可以满足实际应用的需要,同时,对激光脉冲的光束质量进行了精确测量,测得 M² 因子为 1.17,接近衍射极限。

总之,该激光器不论是作为小信号皮秒激光器独立应用,还是作为后续放大的种子源,其窄脉宽、高光束质量和高稳定性都可以满足相应的需要。

林 华 何晋平 梁晓燕

(中国科学院上海光学精密机械研究所,上海 201800)

国家自然科学基金(60578052)资助课题。

收稿日期:2009-03-06