

高性能 LD 抽运 Nd:YAG 激光毛化装置的研制

曹泽新^{1,2} 张春杰² 刘玲^{3*} 赵晓白² 葛赭² 刘畅³

¹ 沈阳航空航天大学理学院, 辽宁 沈阳 110136
² 沈阳大陆激光柔性制造技术有限公司, 辽宁 沈阳 110136
³ 沈阳师范大学物理科学与技术学院, 辽宁 沈阳 110034

摘要 进行了 LD 抽运声光调 Q Nd:YAG 激光器用于轧辊毛化的研制和毛化实验情况的研究。在毛化点阵密度为 4 mm×4 mm 的要求下,用该激光毛化装置对铬基轧辊毛化,实现了 2.8 kHz 的频率条件下,粗糙度在 6 μm 范围内可调,5.6 kHz 的频率条件下,粗糙度在 4.5 μm 范围内可调的优良毛化性能。实现了粗糙度大范围可调、高效率、长寿命和低运行成本的 LD 抽运 Nd:YAG 激光毛化装置的成功研制。

关键词 激光技术;激光毛化;粗糙度;激光二极管抽运;声光调 Q

中图分类号 TG155;TN249 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL201138.0803010

Development of LD Pumped Nd:YAG Laser Texturing Device with High Performance

Cao Zexin^{1,2} Zhang Chunjie² Liu Ling³ Zhao Xiaobai² Ge Zhe² Liu Chang³

¹ College of Science, Shenyang Aerospace University, Shenyang, Liaoning 110136, China

² Dalu Laser Flexible Manufacturing Limited Company, Shenyang, Liaoning 110136, China

³ College of Physics Science and Technology, Shenyang Normal University, Shenyang, Liaoning 110034, China

Abstract Development of roll texturing with LD pumped acousto-optically Q-switched Nd:YAG laser and the texturing experiments are carried out. With the request of roughening reticular density of 4 mm×4 mm, the chromium rolls are textured using this laser texturing device. The result realizes excellent performance that the roughness is adjustable within the scope of 6 μm under the frequency of 2.8 kHz and the adjustable range is 4.5 μm under the frequency of 5.6 kHz. It realizes successfully the development of LD pumped Nd:YAG laser texturing device with long adjustable roughness range, high efficiency, long life time and low operating cost.

Key words laser technique; laser texturing; roughness; laser diode pumped; acousto-optically Q-switched

OCIS codes 240.5770; 350.3390; 350.3850

1 引言

具有特殊表面形貌的冷轧薄钢板在制造业中,特别是汽车、电子、轻工业和家电产业中有着广泛的应用^[1,2]。经毛化轧辊轧制或平整的薄板,表面有储油作用,具有优良的成形性能、表面涂镀性能和机械摩擦性能,能生产出深冲性能好、有高附加值的镜面钢板^[3,4]。

当前轧辊毛化处理技术主要有电火花毛化、激

光毛化等。电火花毛化技术形貌均匀性、保持性比喷丸毛化好,但存在着轧辊使用寿命短、耗电量大、维修不方便和油污染严重等问题^[5]。国内常用的轧辊激光毛化的装备是 CO₂ 激光毛化设备和灯抽运 Nd:YAG 固体激光器^[6~10]。CO₂ 激光器体积较大、对工作环境要求较高、能量转换率较低、需要定期换气和较难维护等缺点,使其在使用上受到一定的限制。相比之下,YAG 激光的波长为 1064 nm,更容

收稿日期: 2011-03-18; 收到修改稿日期: 2011-04-12

基金项目: 国家自然科学基金(10547127,10647139)资助课题。

作者简介: 曹泽新(1973—),男,博士,副教授,主要从事全固态激光器和激光工业加工等方面的研究。

E-mail: caozx@sau.edu.cn

* 通信联系人。E-mail: lling216@163.com

易被材料吸收,毛化后轧辊表面硬度高,使用寿命长;其加工的材料范围也更广。灯抽运的 YAG 激光器用于毛化,也存在氙灯寿命短、稳定性和维护性差等缺点。

针对以上 CO₂ 激光器和灯抽运 YAG 激光器技术的不足,利用本课题组在 LD 抽运全固态激光器方面的技术优势,本文进行了 LD 抽运 Nd:YAG 激光毛化装备的研制。结果表明,LD 抽运 Nd:YAG 激光毛化设备,在毛化点阵密度为 4 mm×4 mm 的条件下,实现了粗糙度在 7 μm 范围内可调的毛化效果,表现出优良的轧辊毛化性能。

2 LD 抽运声光调 Q Nd:YAG 激光毛化装置

轧辊毛化实验选用的激光器为本课题组设计生产的 LD 抽运 Nd:YAG 声光(AO)调 Q 脉冲激光器^[11,12]。如图 1 所示,该激光器由一个激光头、两个声光 Q 开关、一个光阑、对 1064 nm 全反的反射镜和透射率为 30% 的输出镜组成。激光头为 5 个 LD 线阵模块,等间距呈环绕结构直接抽运 Nd:YAG 晶体棒。每个抽运阵列模块包括 5 个额定输出功率为 40 W 的连续 808 nm LD 巴条,使激光头抽运光功率可达 1000 W。激光晶体棒的尺寸为 φ7 mm×99 mm,掺杂原子数分数为 1.0%,晶体棒端面进行曲率修正来补偿热透镜效应,改善输出光束质量。两个关断方向相互垂直的声光 Q 开关分别放置在激光头两侧,Q 开关的射频驱动功率为 100 W。激光器在抽运电流为 45 A 时,抽运功率为 1000 W,静态输出功率为 200 W,Q 开关处关断状态,可有效关断激光抽运增益。Q 开关工作时,输出脉冲的频率范围为 0.1~20 kHz,脉宽调整范围为 1~200 μs。

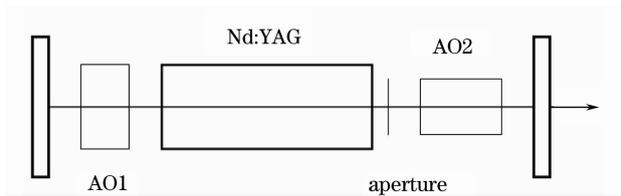


图 1 Nd:YAG 激光器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram for the structure of Nd:YAG laser

使用该激光装置进行轧辊毛化实验时,激光脉冲经扩束镜扩束后通过焦距为 40 mm 的聚焦镜进行聚焦,聚焦光斑直径为 100~200 μm,实际毛化时输出脉宽为 60 μs,使用 CO₂ 气体吹气,吹气气压为

0.5 MPa。轧辊在激光毛化后的粗糙度通过手持式粗糙度测量仪进行测量,相关毛化图片使用 40 倍和 100 倍便携式显微镜,通过数码相机拍摄。

3 铬基轧辊的激光毛化实验

根据相关要求,在 4 mm×4 mm 点阵密度下,使用该激光器对铬基轧辊进行了轧辊毛化实验。实验用轧辊的直径为 108 mm,通过洛氏 HRC 硬度计测得硬度为 62 HRC,毛化后测量硬度不变。在离焦量为 1 mm 范围内可以实现有效毛化,0.8 mm 范围内基本保持同等毛化性能,普通精度的机床即可满足毛化需要。

实验中,通过调整抽运功率,优化光束质量和输出功率的匹配,分别考察了毛化粗糙度随频率的变化以及激光功率对粗糙度的影响等几组实验。

在抽运电流为 45 A 时,激光器的静态功率为 200 W,实验首先考察粗糙度随频率的变化。根据机床转速和 4 mm×4 mm 点阵密度要求,分别选取了 1.4~11.2 kHz 共 7 组频率进行轧辊毛化。每一频率用粗糙度测量仪测出 3 组粗糙度取平均,毛化粗糙度和激光器频率之间的关系如图 2 所示,可以看出毛化粗糙度随频率增加而下降,与目测结果一致。在 1.4 kHz 时,粗糙度测量仪测得平均粗糙度为 6.769 μm,轮廓最大高度 R_i 为 44.24 μm,轮廓最大峰高 R_p 为 20.30 μm。图 3 给出 1.4 kHz 和 5.6 kHz 下,毛化粗糙度的不同放大倍数照片的比较。从图中可以看出,与 CO₂ 激光毛化的周向长椭圆形坑型相比,YAG 激光毛化的坑型为圆形。还可看出,1.4 kHz 时,毛化坑点过熔,坑型显得不够规整。

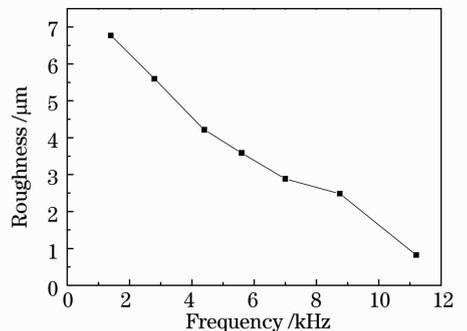


图 2 粗糙度随频率的变化

Fig. 2 Change of roughness with respect to frequency

另一组实验为考察毛化粗糙度随功率的变化情况。4 mm×4 mm 点阵密度不变,频率为 5.6 kHz 不变,分别选取了抽运功率 40~200 W 共 7 组功率,进行轧辊毛化。由于输出功率是根据抽运电流

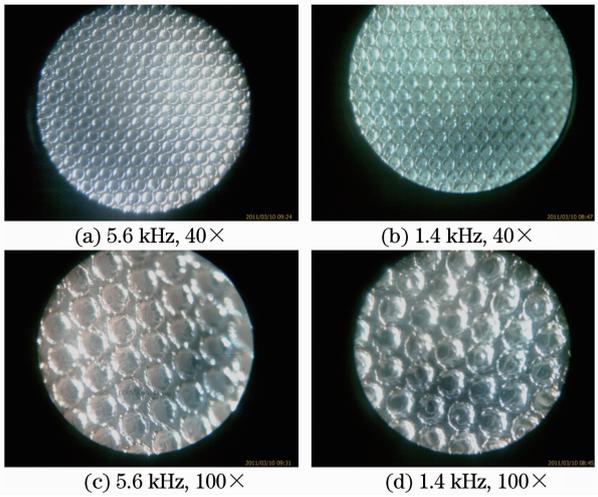


图 3 随频率变化的轧辊毛化点放大图片

Fig. 3 Amplified diagram of roll texturing points changed with frequency

计算给出的,非实时测量值,这里用抽运电流来表示功率变化。毛化粗糙度和激光器的抽运电流之间关系如图 4 所示,可以看出毛化粗糙度随抽运电流增加而增大。由图 5 看出,毛化坑点半径随功率下降,坑径和坑深都在变小。

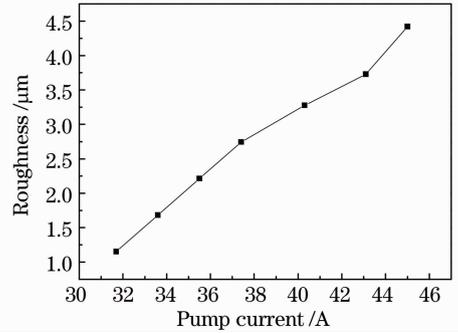


图 4 毛化粗糙度随抽运电流的变化

Fig. 4 Change of roughness with respect to pump current

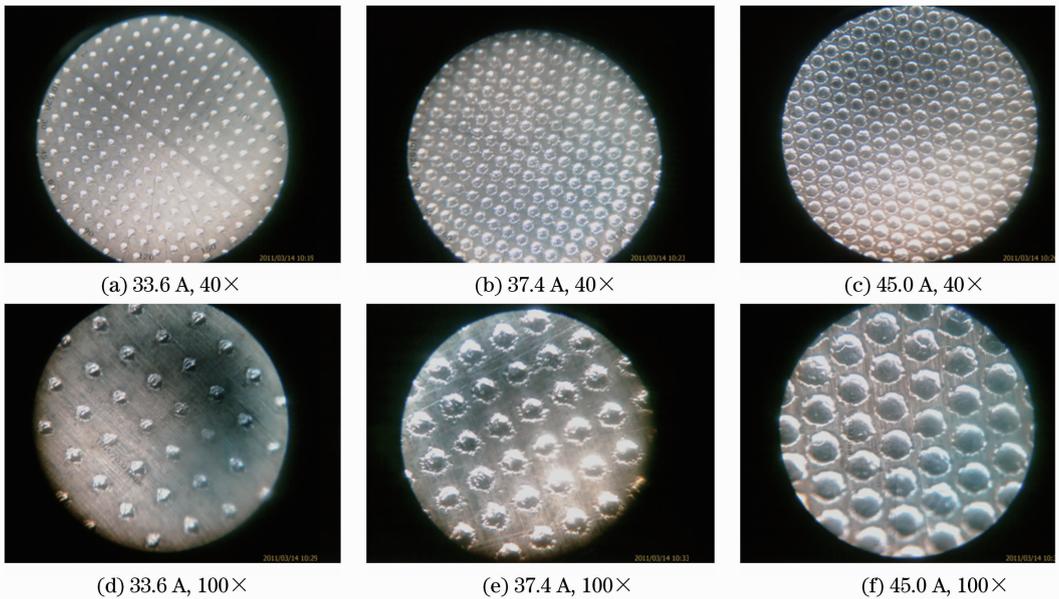


图 5 随抽运电流变化的毛化坑点放大图片

Fig. 5 Amplified diagram of textured point with respect to pump current

4 结 论

毛化实验为中间实验数据,预计通过对激光器光学器件和毛化参数的调整,激光毛化装置的毛化性能还有较大幅度的提升空间。此外,激光毛化装置对轧辊的毛化,还通过增加点阵密度、降低频率等措施,预计可以继续大幅提高毛化粗糙度。也可根据需要,改为周向伪随机或通过振镜输出实现完全随机,满足有各向同性需求的轧辊毛化。从实验结果可以看出,LD 抽运激光毛化装置对轧辊的毛化,

实现了粗糙度大范围可调,完全满足当前工业轧辊的毛化需要。

该激光毛化装置免维护寿命约 10000 h 以上,在常用的 $3 \mu\text{m}$ 粗糙度要求下,可在较低功率下工作,寿命还将大幅延长。从低耗能、高效率、粗糙度大范围可调、长寿命免维护和低成本等方面来看,该激光毛化设备和当前国内使用的 CO_2 激光毛化以及灯抽运 YAG 激光毛化等设备比较,性能十分优越。预计 LD 抽运 Nd:YAG 激光毛化装置的成功

研制,将会改变当前国内轧辊毛化设备的市场格局。

参 考 文 献

- 1 Zhou Jiacong. Texturing technology used for cold roll [J]. *Iron Steel Vanadium Titanium*, 1996, **17**(3): 1~10
周家琮. 冷轧轧辊毛化技术[J]. 钢铁钒钛, 1996, **17**(3): 1~10
- 2 Chen Guangnan. A new method of texturing surface of roll and its application [J]. *Applied Laser*, 1996, **16**(4): 155~158
陈光南. 毛化轧辊的新方法及其应用[J]. 应用激光, 1996, **16**(4): 155~158
- 3 Wan Daping, Hu Dejin, Liu Hongbin *et al.*. Computational fluid dynamic numerical simulation for pulse laser texturing machining [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(7): 1004~1008
王大平, 胡德金, 刘红斌等. 脉冲激光毛化加工的计算机流体力学数值模拟[J]. 中国激光, 2007, **34**(7): 1004~1008
- 4 Fu Yonghong, Li Chengdong, Hua Xijun *et al.*. Study on friction and wear properties of the laser textured mold surface with micro-convex [J]. *Tribology*, 2009, **29**(5): 475~480
符永宏, 李成冬, 华希俊等. 激光毛化微凸形模具钢表面摩擦磨损性能研究[J]. 摩擦学学报, 2009, **29**(5): 475~480
- 5 J. Simão, D. K. Aspinwall, M. L. H. Wise *et al.*. Mill roll texturing using EDT [J]. *J. Mater. Process. Technol.*, 1994, **45**(1-4): 207~214
- 6 Zhu Xiaojian. Laser dull technology of cold-rolled steel sheet [J]. *World Auto*, 1991, (5): 53~54
朱晓建. 冷轧钢板的激光毛化技术[J]. 世界汽车, 1991, (5): 53~54
- 7 Lai Peng, Zhang Qingmao. Reviews and prospects of laser texturing technology [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2009, **46**(4): 53~59
赖鹏, 张庆茂. 激光毛化技术的评述及展望[J]. 激光与光电子学进展, 2009, **46**(4): 53~59
- 8 Yang Mingjiang, Peng Linhua, Li Zhengyang. Development of YAG laser texturing technology [J]. *Applied Laser*, 2002, **22**(3): 323~326
杨明江, 彭林华, 李正阳. YAG激光毛化技术进展[J]. 应用激光, 2002, **22**(3): 323~326
- 9 D. Wan, H. Liu, Y. Wang *et al.*. CO₂ laser beam modulating for surface texturing machining [J]. *Optics & Laser Technology*, 2008, **40**(2): 309~314
- 10 Zhou Le, Chen Peifeng, Wang Ying. Study and practice on multi-head laser texturing technology using polygon scanning for beam modulation [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(1): 210~215
周乐, 陈培峰, 王英. 多棱镜扫描分光多头激光毛化技术研究与实践[J]. 中国激光, 2009, **36**(1): 210~215
- 11 D. C. Gerstenberger, A. Drobshoff, R. W. Wallace. High-peak-power operation of a diode-pumped Q-switched Nd:YAG laser [J]. *Opt. Lett.*, 1990, **15**(2): 124~126
- 12 Wang Shiyu, Guo Zhen, Wen Jianguo *et al.*. CW diode laser pumped Q-switched high repetition rate Nd:YAG laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(11): 1467~1472
王石语, 过振, 文建国等. 连续激光二极管抽运的调Q高重复率Nd:YAG激光器研究[J]. 光学学报, 2000, **20**(11): 1467~1472