

文章编号: 1001-3806(2012)01-0033-04

液压碳石墨密封环激光辅助车削的加工性能研究

薄纪康 张海英

(宁波职业技术学院 模具设计与制造系, 宁波 315800)

摘要: 为了实现液压碳石墨密封环的高效车削加工, 采用激光辅助加工方法, 进行了碳石墨密封环材料的激光辅助车削加工研究。考虑到碳石墨密封环材料具有高强度、高硬度等特点, 利用激光束对工件进行局部加热, 以提高加工效率、减小切削力和刀具磨损。针对碳石墨 M104 密封环的车削加工过程, 进行了常规切削和激光辅助切削的对比实验研究。设计了激光辅助加工的实验流程, 并进行了工艺参数的合理选择, 得到了较高的切削效率。结果表明, 激光辅助切削的主切削力和径向力分别比常规切削下降了 23.5% 和 19.9%; 激光辅助切削的切削区温度分布与常规切削相近; 刀具磨损和破损的程度较小, 能获得较好的表面加工质量。

关键词: 激光技术; 激光辅助加工; 碳石墨; 切削力; 切削温度; 表面质量

中图分类号: TG506 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.01.010

Study on machinability for laser-assisted machining of hydraulic carbon-graphite seal rings

BO Ji-kang, ZHANG Hai-ying

(Department of Mould Design and Manufacturing, Ningbo Polytechnic, Ningbo 315800, China)

Abstract: To perform high efficient turning of hydraulic carbon-graphite seal rings, the laser-assisted machining of the material of carbon-graphite seal ring was conducted using laser pre-heating. The material of carbon-graphite seal rings has the characteristics of high strength and high hardness, and is typical non-metallic difficult-to-machine material. The laser-assisted machining heats the workpiece using laser beam, improving machining efficiency as well as reducing cutting force and tool wear. The turning process of carbon-graphite M104 seal ring was focused on, and the conventional machining was compared with the laser-assisted machining. The experimental process of laser-assisted machining was designed and reasonable process parameters were selected. A high cutting efficiency was obtained. The main cutting force and radial force decreased by 23.5% and 19.9% compared with conventional machining. The temperature distribution in the cutting zone of laser-assisted machining is similar to conventional machining. The laser-assisted machining has less tool wear and can get a better surface quality.

Key words: laser technique; laser-assisted machining; carbon-graphite; cutting force; cutting temperature; surface quality

引言

碳石墨密封环具有高硬度、高强度、耐高温、耐磨损、耐腐蚀等优点, 广泛应用于高温热油泵、潜水泵、核二极泵、锅炉给水泵等液压设备和化工设备中。碳石墨密封环的加工通常要经过粗车、铣槽、精车等工艺, 而碳石墨 M104、XM208 等属于典型的难加工材料, 硬度可达 HS85 以上, 加工中, 切削力高、刀具磨损严重、

加工效率较低。

激光辅助加工是近年来新兴的一种加工工艺, 适用于高硬度、高强度及高脆性的材料领域, 特别是对非金属材料的加工^[1-3]。激光辅助加工利用激光束对工件进行局部加热, 可加快切削速率, 降低切削力, 减少刀具磨损, 提高加工效率。激光束控制灵活, 能准确照射到待加工位置, 光斑形状和大小都能调节, 可较好地满足切削加工要求^[1]。因而, 采用激光辅助加热来改善难加工材料的加工性能, 具有重要的实际应用价值。

为此, 作者针对碳石墨 M104 密封环的车削过程, 进行了常规切削与激光辅助车削的对比实验, 选择和计算了激光辅助车削的工艺参数, 研究和讨论了常规切削与激光辅助车削的切削力、切削温度分布、刀具磨损和表面加工质量。

基金项目: 浙江省高职(高专)专业带头人培养计划资助项目(2007-209)

作者简介: 薄纪康(1965-), 男, 副教授, 主要从事液压元件设计与制造、数控技术方面的研究工作。

E-mail: bjk3895689@126.com

收稿日期: 2011-06-17; 收到修改稿日期: 2011-07-01

1 碳石墨密封环激光辅助车削对比实验

1.1 实验原理与实验过程

进行碳石墨密封环常规切削与激光辅助车削的对比实验,即进行相同切削参量、工件材料和刀具下的2组实验,分别采用常规加工方法(不采用激光预加热)和激光辅助车削加工方法。

实验中使用的机床为带有自动变速装置的CA6140型车床,刀具为硬质合金车刀。工件材料为碳石墨M104,硬度为HS85(相当于HRC62),抗压强度为90MPa,抗弯强度为40MPa。

图1是碳石墨密封环激光辅助车削实验的原理图。加工过程中,利用激光光束对工件的待加工部位进行预热。激光器安装在特制的进给装置上,进给装置由伺服电机驱动,可对工件进行均匀预加热。

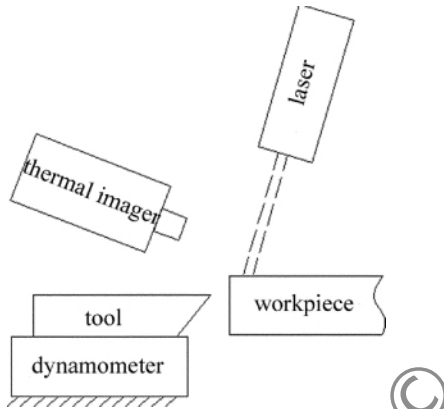


Fig. 1 Principle of the experiment

实验中采用连续型CO₂激光器,最大输出功率为2kW,采用Kistler 9257B测力仪测量切削力,采用Thermovision A40M红外热像仪采集切削达到稳态后的温度分布图像。实验设备如图2所示。考虑到工件表面对激光有一定的反射率,激光预热前对工件表面喷涂硅酸铀吸收剂,以增加待加工表面对激光的吸收率。

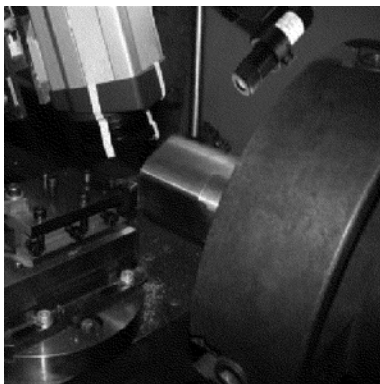


Fig. 2 Experimental setup

1.2 工艺参量选择

激光辅助切削过程涉及的工艺参量众多,主要是加工参量和激光参量两类,其中加工参量包括切深、主

轴转速、轴向进给速率,激光参量包括激光器功率、激光光斑形状与大小、激光入射角、扫描速率。

切深对激光辅助加工的影响最大。这是由于激光预热使得工件由表及里的硬度逐渐增强,使得刀具刃口受力不均匀^[2]。如果选择较大的切深,则可能会引起刀具过度磨损甚至破损,影响加工质量,故实验中选择切深为0.3mm。

主轴转速和轴向进给速率则影响激光对工件的预热时间。主轴转速和轴向进给速率大,则预热时间短;主轴转速和轴向进给速率小,则预热时间相对较长。根据激光辅助加工非金属材料的相关文献^[2-4],主轴转速取为320r/min,轴向进给速率取为0.1mm/r。

激光参量则应与切削参量相匹配,激光光斑的形状以椭圆形为宜,激光入射角大于70°为宜,这是由于入射角越大,能量越大,切削越容易实施,故采用80°入射角。激光扫描速率与切削速率和激光照射时间相关^[5-8],这里取激光扫描速率与切削速率相同,即激光光束随切削同步扫描。激光光斑的长轴 a 和短轴 b 与切削参量、激光照射时间等相关,计算式为:

$$a = \frac{vt}{2} \quad (1)$$

$$b = \frac{a_p}{2\sin\varphi} \quad (2)$$

式中 v 为激光扫描速率即切削速率, t 为激光照射时间, a_p 为切深, φ 为工件轴线与车刀主切削刃的夹角。

2 实验结果分析与讨论

2.1 切削力

实验中采集了常规切削与激光辅助切削的主切削力和径向切削力,切削达到稳态后的切削力对比如图3所示。

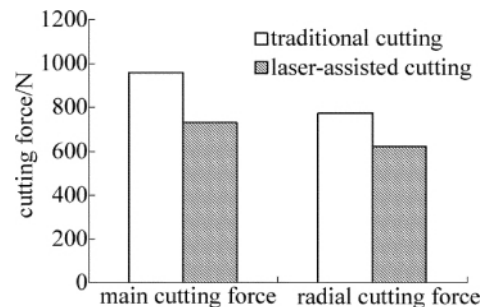


Fig. 3 Comparison of cutting force of traditional cutting and laser-assisted cutting

由图3可见,激光辅助切削的主切削力和径向力都比常规切削有所下降,其中主切削力下降了23.5%,径向力下降了19.9%。这主要是激光辅助加工方法采用激光束加热工件材料,使切削区受热软化,材料的硬度和强度均有所下降,变形抗力和摩擦力变

小,使得切削更易进行。主切削力下降的幅度比径向力明显,说明工件材料的热软化效应对主切削力的影响更为显著。

2.2 切削温度

采用红外热像仪获取切削中的温度分布,在稳定切削状态下的切削温度分布对比如图 4 所示。

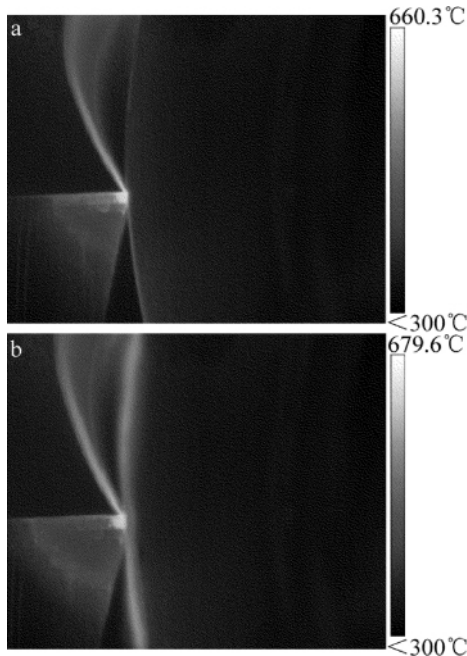


Fig. 4 Comparison of cutting temperature of traditional cutting and laser-assisted cutting

a—traditional cutting b—laser-assisted cutting

由图 4 可见,常规切削与激光辅助切削在切削区的温度分布大致相同,最高切削温度都集中在刀尖及其附近;激光辅助切削不会引起刀具过高的切削温度,最高温度差距在 20°C 以内,因此,对刀具的耐用性几乎没有影响。

在激光辅助切削中,尽管激光加热使得工件表面温度升高,但大部分的热量都被切屑带走,使得加工后的表面温度分布较为均匀,温度数值与常规切削比较接近。这说明可以通过合理的参量设定,可以使刀具不至于过分受热而磨损过快,同时又能使切削中的热量传给切屑而不影响刀具和加工后的工件。

2.3 刀具磨损

切削一定时间后的刀具前刀面磨损对比如图 5 所示。由图 5 可见,由于激光辅助加工大幅降低了切削力,使得刀具的磨损也相应减小。常规切削的刀具在前刀面有片状剥落,甚至表面已有裂纹出现,刀具已经接近破损状态。而激光辅助切削的刀具仅在前刀面有微量的磨损。造成刀具磨损和破损的原因很多,但归根结底是热应力和机械应力综合作用引起刀具磨损或破损失效^[5]。由于常规切削与激光辅助切削的切削

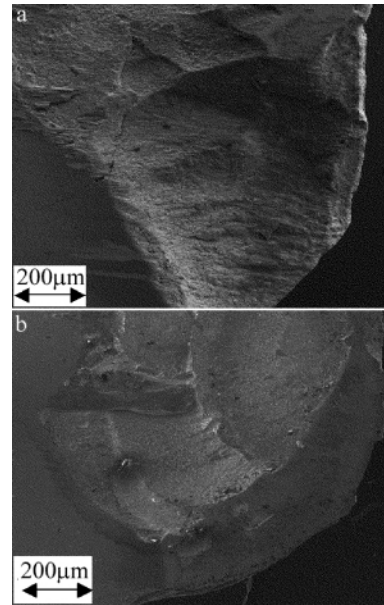


Fig. 5 Comparison of tool wear of traditional cutting and laser-assisted cutting

a—traditional cutting b—laser-assisted cutting

温度差别较小,因而刀具磨损的差异主要是由于切削力引起。常规切削的工件材料强度较大,刀具受到更强的挤压、冲击和摩擦作用,刀具在单位面积上承受的载荷和机械应力更大,因而常规切削的刀具更容易受到破坏。

2.4 工件表面粗糙度

工件的表面加工质量是评价激光辅助切削加工效果的重要因素之一,为此,分别在常规切削和激光辅助切削加工后的工件表面沿圆周方向选取相同的 4 个点测量表面粗糙度,如表 1 所示。

Table 1 Comparison of surface roughness of traditional cutting and laser-assisted cutting

point number	surface roughness $R_a / \mu\text{m}$	
	traditional cutting	laser-assisted cutting
1	0.72	0.58
2	0.86	0.63
3	0.89	0.55
4	0.93	0.65

由表 1 的数据可见,激光辅助切削的表面粗糙度要稍好于常规切削,表面粗糙度数值的变化幅度也小,说明激光辅助切削的表面加工质量和稳定性优于常规切削。

常规切削与激光辅助切削的工件表面扫描电镜图片如图 6 所示。观察图 6 可以发现,激光辅助切削的工件表面更平直、光滑,二者的加工表面对比说明激光辅助切削具有更好的表面加工质量。工件表面粗糙度的提高与切削力和刀具磨损密切相关^[9-10],原因在于,一是切削力小,材料更容易从工件表面分离,切削能够顺畅进行,二是刀具磨损小,对提高加工质量的作用明显。

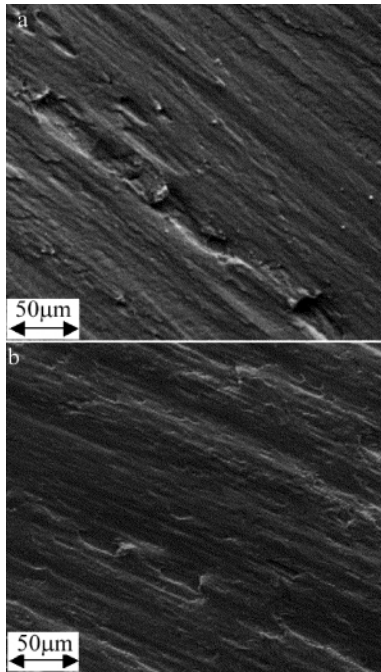


Fig. 6 Comparison of machined surface of traditional cutting and laser-assisted cutting
a—traditional cutting b—laser-assisted cutting

3 结论

(1) 设计了激光辅助切削的实验过程和工艺参量,在带有自动变速装置的 CA6140 型车床上,进行了碳石墨 M104 密封环车削过程的常规切削与激光辅助切削的对比实验研究。

(2) 由于激光的热软化效应,使得激光辅助切削的主切削力和径向力分别比常规切削下降了 23.5% 和 19.9%;在激光辅助切削中,大部分的热量都被切屑带走,温度数值与常规切削比较接近;激光辅助切削中切削力的减小和切削温度的合理分布,使得刀具磨

损小,刀具利用率提高;由于切削力和刀具磨损减小,激光辅助切削的表面加工质量提高。

(3) 激光辅助切削具有切削力小、刀具利用率高等优点,因而可以在难加工材料的加工中发挥很大的作用。若能合理匹配加工参量和激光参量,则切削效率能进一步提高。

参考文献

- [1] LI J. Laser assisting heating cutting technology [J]. *Machinery Design and Manufacture*, 2009, 49(12): 174-176 (in Chinese).
- [2] JIANG R B, LIAN L C, YAN C. Analysis of the performance in the turning engineering ceramics by laser heating [J]. *Manufacturing Technology and Machine Tool*, 2010, 38(9): 84-87 (in Chinese).
- [3] CHANGA C W, KUO C P. An investigation of laser-assisted machining of Al_2O_3 ceramics planning [J]. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2007, 47(3/4): 452-461.
- [4] BRECHER C, ROSEN C, EMONTS M. Laser-assisted milling of advanced materials [J]. *Physics Procedia*, 2010, 5(2): 259-272.
- [5] WAN Y, AI X, LIU Z Q, et al. Tool wear and fracture in high speed milling aluminum alloy 7050-T7451 [J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2007, 43(4): 103-108 (in Chinese).
- [6] MELKOTE S, KUMAR M, HASHIMOTO F, et al. Laser assisted micro-milling of hard-to-machine materials [J]. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2009, 58(1): 45-48.
- [7] JEON Y, PFEFFERKORN F. Effect of laser preheating the workpiece on micro end milling of metals [J]. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2008, 130(1): 1-9.
- [8] WANG Y, LI Y H, LIAO C R, et al. Study on arts and crafts of stainless steel micro-cantilever prepared with femtosecond laser [J]. *Laser Technology*, 2010, 34(3): 347-347 (in Chinese).
- [9] PFEFFERKORN F, LEI S, JEON Y, et al. A metric for defining the energy efficiency of thermally assisted machining [J]. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2009, 49(5): 357-365.
- [10] SINGH R, MELKOTE S. *Laser-assisted mechanical micromachining* [M]. London: Springer 2008: 10-11.
- [4] OBATA K, SUGIOKA K, AKANE T, et al. Influence of laser fluence and irradiation timing of F2 laser on ablation properties of fused silica in F2-KrF excimer laser multi-wavelength excitation process [J]. *Applied Physics* 2001, A73(6): 755-759.
- [5] MUTAPCIC E, IOVENITTI P, HAYES J P. A 3D-CAM system for quick prototyping and microfabrication using excimer laser micromachining [J]. *Microsystem Technologies* 2005, 12(1/2): 128-136.
- [6] FUJIKAWA T, SHIBASKI Y, ANDO S, et al. New photoresist materials for 157nm lithography [J]. *Chemical of Materials* 2003, 15(7): 1512-1517.
- [7] LI W L, LI Y, LI W. Mechanism study of silica ablating on photonic crystal fiber by 157nm laser [J]. *Laser Technology*, 2006, 30(6): 601-604 (in Chinese).
- [8] DU G J, CHEN T, ZUO T Ch, et al. Lens array homogenizer for excimer lasers [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2005, 16(3): 279-281 (in Chinese).
- [9] ZHAO Z Y, HOU D S, DONG X Ch, et al. Research on etching properties of polycarbonate by KrF excimer laser [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2004, 31(2): 4-7 (in Chinese).
- [10] FU G S, CHU L Z, ZHOU Y, et al. Influence of pulse repetition rate on morphology of nanocrystalline silicon film prepared by pulsed laser deposition [J]. *Chinese Journal of Laser*, 2005, 32(9): 1254-1257 (in Chinese).
- [11] DEGN H Y, RAO Y J, RAN Z L, et al. Photonic crystal fiber based Fabry-Pérot sensor fabricated by using 157nm laser micromachining [J]. *Acta Optica Sinica* 2008, 28(2): 254-258 (in Chinese).

(上接第 15 页)