

文章编号: 0258-7025(2003)07-0655-04

激光淬火+冲击复合强化处理 QT800-2 的实验研究

花银群, 杨继昌, 张永康, 杨兴华, 陈瑞芳, 叶云霞

(江苏大学机械工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要 对经激光淬火强化处理后的球墨铸铁 QT800-2 的强化区域再进行激光冲击强化处理进行了研究, 结果表明, 复合强化处理后的球墨铸铁 QT800-2 与经激光淬火强化处理区域相比, 各项机械性能都得到了较大提高, 其中硬度提高了 18%, 耐磨性提高了 100%, 尤其是材料内部残余应力全部变成了残余压应力。

关键词 激光技术; 激光淬火; 激光冲击; 硬度; 耐磨性; 残余应力

中图分类号 TG 665 **文献标识码** A

Study on the Experiment of Laser Quenched+Shocked Processing Ductile Iron QT800-2

HUA Yin-qun, YANG Ji-chang, ZHANG Yong-kang,

YANG Xin-hua, CHEN Rui-fang, YE Yun-xia

(School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract In this paper, it has been studied that the hardened zones of ductile iron QT800-2 are processed through laser shock again, after laser quenched. The results indicate that properties of the zone treated through compound method is improved, compared to that through only laser quenched. The hardness increases by 18% and the wearability enhances about 100%. Especially, the residual stress of the interior of the material was changed into compressive stress.

Key words laser technique; laser quenched; laser shocked; hardness; wear-resistance; residual stress

1 引言

激光淬火技术是以高能量 ($10^4 \sim 10^5$ W/cm²) 的激光束快速扫描金属工件, 使被照射的金属或合金表面温度以极快速度升高到相变点而低于熔化温度, 当激光束离开被照射部位时, 由于热传导的作用, 处于冷态的基体使其迅速冷却而进行自淬火。它可以有效提高金属材料或零件的表面硬度、耐磨性、耐蚀性以及强度和高温特性^[1~3]。

激光冲击处理技术 (LSP) 是利用高功率密度 (GW/cm² 级) 短脉冲 (ns 级) 激光对金属材料进行辐照, 使金属材料表层发生塑性变形, 在金属材料或零件的表层形成数百 MPa 的残余应力, 从而改善金

属抗疲劳性能的一项新技术^[4~8]。

如上所述, 激光淬火主要用于提高材料表面硬度、抗磨、抗腐蚀等机械性能, 它虽然在被淬火工件表面形成了残余压应力, 然而在其次表面也存在着较大的残余拉应力, 几百 MPa 的残余拉应力的存在对于材料次表面的裂纹扩展有着极大的影响, 这样会极大地危及到工件运行安全。而激光冲击强化处理, 虽然在材料表层内部形成了较好的残余压应力, 但是对改善材料的硬度、抗磨、抗腐蚀能力却不如激光淬火明显。如果能将这两种处理方式进行有效的复合, 对工件进行强化处理, 发挥各自在改善材料机械性能方面的优势, 克服不足, 形成互补, 那么将是一项非常有益

收稿日期: 2002-10-31; 收到修改稿日期: 2002-12-19

基金项目: 江苏省高校自然科学基金 (No. 02KJB460004) 资助项目。

作者简介: 花银群 (1963—), 男, 江苏东台人, 江苏大学副教授, 博士, 从事激光表面加工方面的研究。E-mail: huayq@uj.s.edu.cn

的、工业应用前景十分广阔的新工艺。

2 实 验

2.1 试样材料

试样材料为球墨铸铁 QT800-2, 它的化学成分

表 1 QT800-2 球墨铸铁的化学成分及机械性能

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of QT800-2

Chemical compositions	C	Si	Mn	P	S	Mg	RE	
wt.-%	3.7~3.85	1.3~1.4	0.3~0.4	≤0.07	≤0.05	0.04~0.05	0.015~0.04	
Mechanical properties	E /MPa		ν	σ_b /MPa		$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ /%	$H_{V_{0.2}}$
	130		0.291	800		480	2	274
Heat treatment	Normalization							

2.2 实验装置及参数选择

激光淬火强化试验是在江苏大学激光技术研究所 NEL-2500A 轴向快速流动工业 CO₂ 激光器上进行的。经实验优化, 所有激光淬火的参数均为: 淬火功率 750 W, 扫描速度 7 mm/s, 光斑尺寸 ϕ 4 mm, 涂层带厚度约为 0.1 mm, 宽度为 8 mm。激光淬火处理后, 球墨铸铁 QT800-2 的硬化层宽度为 3.7 mm, 硬化层深度为 0.31 mm。

激光冲击强化试验是在中国科技大学强激光实验室 Nd:YAG 实用型激光冲击强化装置上进行的。激光波长 1.06 μ m, 脉宽 23 ns, 输出能量 16~20 J, 光斑大小为 ϕ 7 mm。涂层涂在约束层 K9 玻璃与工件相连的一面, 厚度约为 0.025 mm。选定激光冲击功率密度在 1.80 GW/cm² 左右, 激光冲击形成的冲击波峰值应大于球墨铸铁 QT800-2 的动态屈服强度 1.138 GPa, 以保证被冲击材料产生一定的塑性变形。

3 复合强化后的试件检测结果

球墨铸铁 QT800-2 经激光淬火、激光冲击、激光淬火+激光冲击复合强化处理后, 分别对其试样表面硬度、沿淬火和冲击强化层深方向的硬度及其强化影响层的残余应力的分布进行了系统测试、比较和分析, 得到了一些新的研究成果。

3.1 显微硬度

采用 HVS-1000 型数字显微硬度计测量了球墨铸铁 QT800-2 激光冲击强化表面区和沿激光强化区深度方向的显微硬度, 保压时间为 10 s, 负荷重为 200 g, 测量结果如图 1~3 所示。

及机械性能如表 1 所示。试样尺寸为 30 mm×20 mm×10 mm, 激光淬火和激光冲击处理中所用吸光涂层均为中国科学院上海光机所生产的 86-1 型黑色涂料, 用 K9 光学玻璃作为激光冲击的约束层, 外形尺寸为 ϕ 19 mm×4 mm。

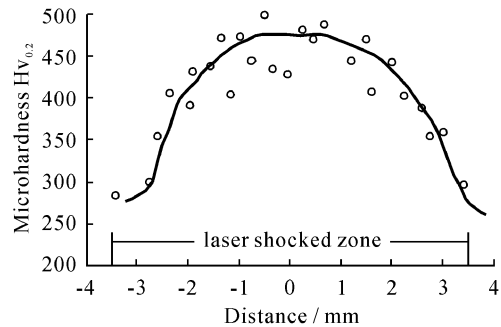


图 1 激光冲击球墨铸铁 QT800-2 的表面硬度分布
Fig. 1 Microhardness distribution of laser shocked zone of ductile iron QT800-2

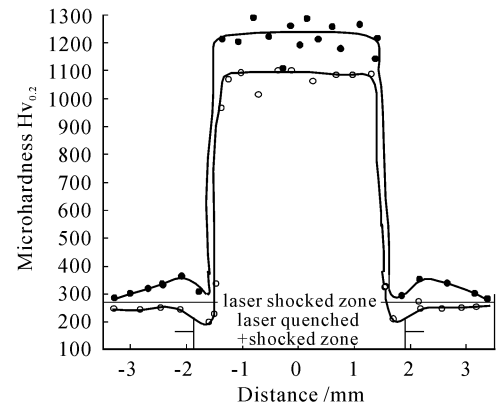


图 2 经激光不同处理后表面影响区硬度分布的比较
Fig. 2 Comparison of surface hardness distribution obtained through different treatment methods by laser

球墨铸铁 QT800-2 经激光冲击强化后(激光功率密度为 1.92 GW/cm²)冲击区硬度平均值为 Hv_{0.2}435 左右, 与基体硬度 Hv_{0.2}274 相比提高了 59%左右(如图 1)。

图 2 为激光淬火与激光淬火+冲击(激光冲击功率密度为 1.93 GW/cm^2)复合强化处理区域的表面硬度分布比较,纯激光淬火强化后的表面平均硬度为 $H_{V_{0.2}}1025$,而复合强化区的平均硬度为 $H_{V_{0.2}}1211$,复合强化区的平均硬度提高了 18%。

图 3 为激光淬火、激光冲击以及激光淬火+冲击复合强化处理球墨铸铁 QT800-2 后沿深度方向的硬度分布比较。在激光淬火强化区,平均硬度为 $H_{V_{0.2}}923$,比基体硬度提高了约 2.4 倍;纯激光冲击区沿深度方向 1.0 mm 的影响区内,平均硬度 $H_{V_{0.2}}352$,比基体硬度提高了约 28.5%;而在激光淬火+冲击复合强化区平均硬度为 $H_{V_{0.2}}987$,它比纯激光淬火强化区的硬度提高了约 7%。

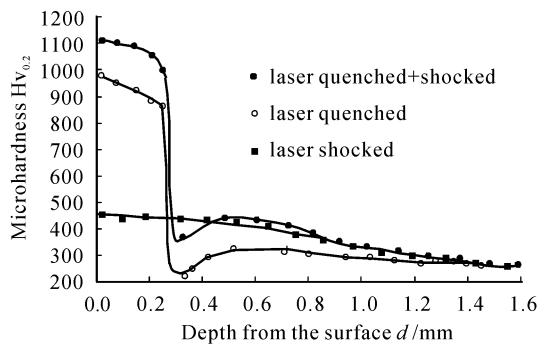


图 3 经激光不同处理沿深度方向的硬度分布的比较
Fig. 3 Comparison of hardness along the depth of strengthened zones obtained through different treatment methods by laser

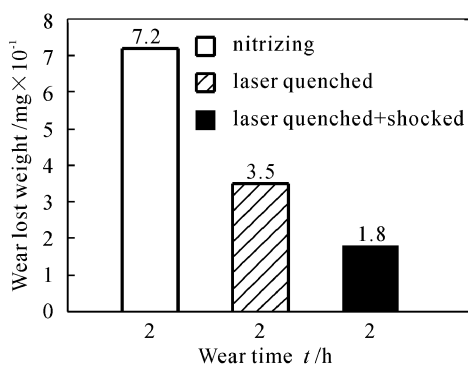


图 4 不同表面处理磨损量的比较
Fig. 4 Comparison of abrasion of the strengthened zone obtained through different treatment methods

3.2 耐磨性能

滑动磨损试验在 MM200 磨损试验机上进行,该机最大工作压力 200 kg,滑动率为 100%。对激光淬火+冲击复合强化处理的球墨铸铁 QT800-2 与经渗氮和激光淬火强化处理后的球墨铸铁

QT800-2 试样进行耐磨性比较试验。磨块为 GCr15,硬度为 HRC58,试样磨面尺寸 $8 \text{ mm} \times 19.5 \text{ mm}$,厚度为 10 mm,每种材料每种处理工艺的试样 5 个,转速为 200 r/min,压力为 19.6 N,试验时间为 2 h。试验结果如图 4,球墨铸铁磨损量为 5 个试样的算术平均值,试验数据的分散度极小,各组数据之间完全没有交叉,数据的可信度高。由图 4 可知,球墨铸铁 QT800-2 经激光淬火强化后耐磨性比经氮化处理后的耐磨性提高 1.1 倍,而经激光淬火+冲击(激光冲击功率密度为 1.79 GW/cm^2)复合强化处理后的耐磨性又比激光淬火后的耐磨性增加了近一倍。

3.3 残余应力

球墨铸铁 QT800-2 经激光淬火、激光冲击和激光淬火+冲击复合强化处理后,残余应力的测试是在上海交通大学材料工程学院测试中心新型 X-350A 残余应力测试仪上进行的,结果如图 5。激光冲击(功率密度为 1.86 GW/cm^2)强化区表面残余应力最大值为 -426 MPa ,残余应力的影响深度达 2.0 mm;激光淬火强化区表面残余应力最大值约为 -127 MPa 。大约在 0.32 mm 处,残余应力由压应力转变为拉应力,最大残余拉应力为 250 MPa,残余应力的影响深度达 1.6 mm;激光淬火+冲击(激光冲击功率密度为 1.75 GW/cm^2)复合强化后表面最大残余应力 -362 MPa ,使纯激光淬火区表面的残余应力增加了 185%,而且完全消除了激光淬火强化后材料内部存在的残余拉应力。

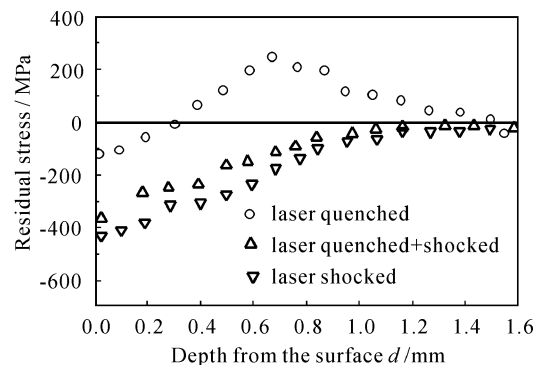


图 5 不同表面处理残余应力的比较
Fig. 5 Comparison of residual stress obtained through different treatment methods by laser

4 结论

球墨铸铁 QT800-2 经激光淬火+冲击复合强化处理的实验表明,它可以在激光淬火强化处理区

上继续进行激光冲击处理。激光淬火+冲击复合强化处理可以继续提高激光淬火区的表面硬度,也可以加倍提高原强化区的耐磨性能。尤其是激光淬火+冲击复合强化处理能大大改善因纯激光淬火产生的残余应力的性质,使复合强化区产生了纯残余压应力,这将大大有益于提高材料被强化区的抗疲劳性能。

致谢 谨向中国科学技术大学强激光研究所吴鸿兴和郭大浩两位教授给予的实验支持表示感谢。

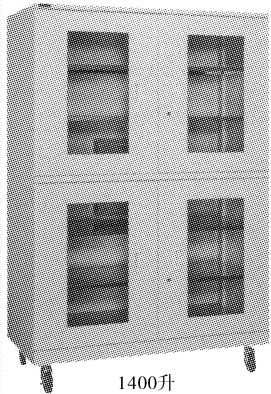
参 考 文 献

- 1 R. Sagaro, J. S. Ceballos, J. Mascarell *et al.*. Tribological behaviour of line hardening of steel U13A with Nd : YAG laser [J]. *Revista de Metalurgia (Madrid)*, 1999, **35**(3):166~172
- 2 Ouyang Jiahu, Li Xiadong, Pei Yutao. Structure and properties of laser quenched 4Cr13 steel [J]. *Chinese J. Lasers*, 1993, **B2**(5):475~480
- 3 P. Yu. Kikin, A. A. Medvedev, A. I. Pchelintsev *et*

- al.*. Effect of pulsed laser quenching on the mechanical properties of structural steels in high-rate deformation [J]. *Physics and Chemistry of Materials Treatment*, 1990, **24**(6):582~583
- 4 B. P. Fairand, A. H. Clauer. Laser generation of high amplitude stress in waves materials [J]. *J. Appl. Phys.*, 1979, **50**(3):1497~1502
- 5 M. Gerland, M. Hallouin, H. N. Presles. Comparison of two new surface treatment processes, laser-induced shock waves and primary explosive; Application to fatigue behaviour [J]. *Materials Science and Engineering*, 1992, **A156**(2):175~182
- 6 D. Grevey, L. Maiffredy, A. B. Vannes. Laser shock on a TRIP alloy: mechanical and metallurgical consequences [J]. *Journal of Materials Science*, 1992, **27**(8):2110~2116
- 7 J. E. Masse, G. Barreau. Laser generation of stress waves in metal [J]. *Surface and Coating Technology*, 1995, **70**:231~235
- 8 L. Berthe, R. Fabbro, P. Peyre *et al.*. Shock waves from a water-confined laser-generated plasma [J]. *J. Appl. Phys.*, 1997, **82**(6):2826~2832



• 广告 •



1400升

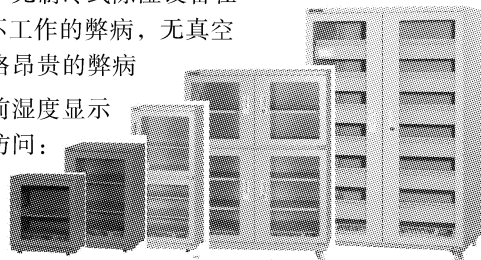
光学器材防潮防霉防氧化必备
卡特曼常温自动干燥箱

高可靠
全自动
免维护

常温自动干燥, 全年高效除湿, 无制冷式除湿设备在气温25℃效果不佳, 20℃以下不工作的弊病, 无真空干燥箱使用不便, 噪音大, 价格昂贵的弊病
箱内湿度设定, 智能控制, 当前湿度显示
规格多种, 欢迎垂询, 详情请访问:

www.autodry.net

中外合资



54升 70升 105升 320升 470升

卡特曼(成都)电子有限公司

成都市均隆街59号 邮编: 610021 电话: 028-84463888 传真: 028-84457827