

激光淬火+冲击复合强化处理45钢的试验研究*

花银群 杨继昌 杨兴华 蔡兰 张永康

(江苏大学机械工程学院 镇江 212013)

摘要: 将45钢激光淬火强化处理区域再进行激光冲击强化处理。处理结果表明:复合强化处理后的45钢与经激光淬火强化处理区域相比,其硬度和耐磨性都得到了很大提高,其中,硬度提高了15%,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: 激光淬火 激光冲击 硬度 耐磨性 残余应力

中图分类号: TN249

0 前言

激光淬火技术是以高能量(10~100 kW/cm²)的激光束快速扫描金属工件表面,使其发生相变硬化。它可以有效提高金属材料或零件的表面硬度、耐磨性、耐腐蚀性以及强度和高温特性^[1,2]。

激光冲击处理技术是利用高功率密度(1 GW/cm²以上)短脉冲(ns级)激光对金属材料进行辐射,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^[3~6],从而改善金属性能的一项新技术。如上所述,激光淬火主要用于提高材料表面硬度、抗磨、抗腐蚀等力学性能,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积极的影响,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,但是激光冲击处理对改善材料的硬度、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的、工业应用前景十分广阔的新工艺。

1 激光淬火+冲击处理试验

1.1 试样材料

试样材料为45钢,它的化学成分和力学性能如

下表所示。试样尺寸:45钢为30 mm×20 mm×10 mm,试样表面用86-1型黑色涂料分别作为激光淬火和激光冲击吸光层,用K9光学玻璃作为激光冲击的约束层,外形尺寸为 $\phi 19$ mm×4 mm。

1.2 试验装置及参数选择

激光淬火试验在NEL-2500A轴向快速流动工业CO₂激光器上进行。经试验优化,在试验中所有试样的激光淬火参数均为:激光淬火功率750 W,扫描速度7 mm/s,光斑尺寸 $\phi 4$ mm;涂层带厚度约为0.1 mm,宽度为8 mm。激光淬火处理后,硬化层宽度3.5 mm,深度为0.52 mm。

激光冲击试验在Nd:YAG实用型激光冲击强化装置上进行。激光波长1.06 μ m,脉宽23 ns,输出功率16~20 J,光斑大小为 $\phi 7$ mm。涂层涂在约束层K9玻璃其中的一面,厚度约为0.025 mm,选定激光冲击功率在1.9 GW/cm²左右,激光冲击形成的冲击波峰值应力应大于45钢动态屈服强度1.225 GPa,以保证被冲击材料产生一定的塑性变形。

1.3 性能测试设备

采用HVS-1000型数字显微硬度计测量了45钢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,负荷为200 g。滑动磨损试验在MM-200磨损试验机上进行,该机最大工作压力2 kN,滑动率为100%。对激光淬火+冲击复合强化处理的45钢与经渗氮和激光淬火强化处理后的45钢试样进行耐磨性比较试验。磨块为GCr15,58 HRC,试样磨面尺寸8 mm×19.5 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。残余应力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,残余应力测试位置均为激光冲击处理的光斑中心。

* 江苏省高校自然科学基金资助项目(02KJB460004)。20021104收到初稿,20030616收到修改稿

表 45 钢的化学成分及力学性能

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
质量分数 w/%	0.42-0.5	0.17-0.37	0.5-0.8	≤0.035	≤0.035	≤0.25	≤0.25	≤0.25
力学性能	弹性模量 E/GPa		泊松比 μ		抗拉强度 σ_b /MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	断后伸长率 δ /%	维氏硬度 HV _{0.2}
	201		0.293		600	520	16	273
热处理	调 质							

2 试验结果

45 钢经激光淬火、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以及其强化影响层的残余应力的分布进行了系统测试，并对其加以比较和分析，得到了一些新的研究成果。

2.1 显微硬度

45 钢经激光冲击强化后(激光冲击功率密度为 1.91 GW/cm²)冲击区硬度平均值为 415 HV_{0.2} 左右，与基体硬度 273 HV_{0.2} 相比提高了 52%，如图 1 所示。

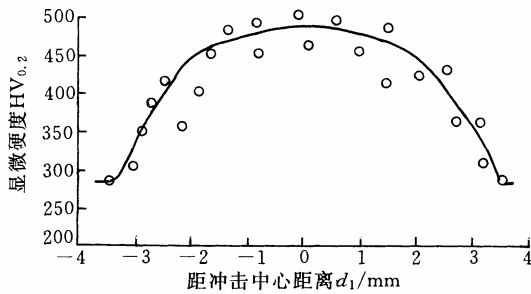


图 1 激光冲击 45 钢强化区表面硬度分布

图 2 所示为激光淬火强化与激光淬火+冲击(激光冲击功率密度为 1.93 GW/cm²)复合强化处理区域的表面硬度分布曲线。经纯激光淬火强化处理区的表面平均硬度为 839 HV_{0.2}，比其基体硬度增加了

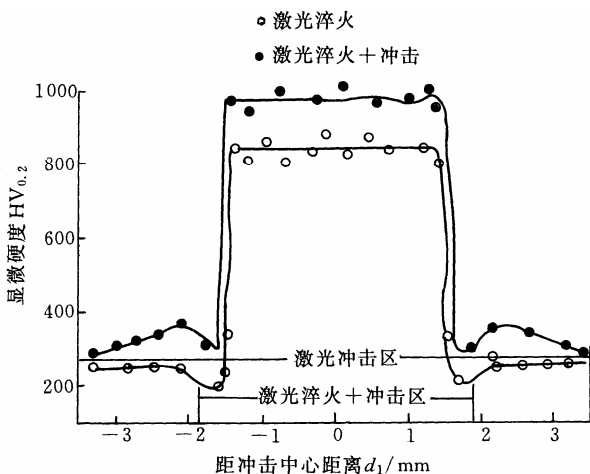


图 2 经激光不同处理后表面影响区硬度分布的比较

200%；而复合强化处理区的平均硬度为 967 HV_{0.2}，比其经纯淬火处理区硬度提高了 15%。

图 3 所示为激光淬火、激光冲击以及激光淬火+冲击复合强化处理 45 钢后沿深度方向的硬度分布曲线。在激光淬火强化区，平均硬度为 676 HV_{0.2}，比其基体硬度提高了 1.47 倍；纯激光冲击处理区沿深度方向 1.0 mm 的影响区内，平均硬度为 385 HV_{0.2}，比其基体硬度提高了 40%；而在复合强化区平均硬度为 736 HV_{0.2}，比其经纯激光淬火强化处理区的硬度提高了 8.8%。

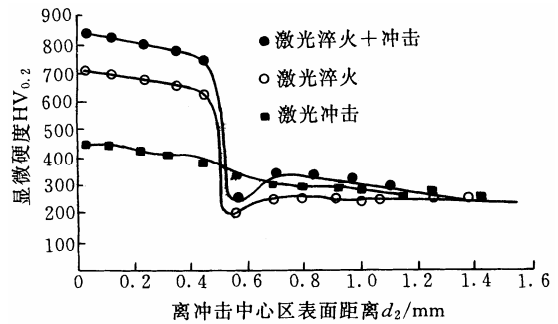


图 3 经激光不同处理后沿深度方向的硬度分布的比较

2.2 耐磨性能

滑动磨损试验结果如图 4 所示，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。45 钢经激光淬火强化处理后的耐磨性比其经软氮化处理后的耐磨性提高近一倍多，而经激光淬火+冲击(激光冲击功率密度为 1.87 GW/cm²)复合强化处理后的耐磨性又比其经激光淬火后的耐磨性增加了一倍多。

2.3 残余应力

45 钢经激光淬火、激光冲击和激光淬火+冲击复合强化处理后，残余应力测试结果如图 5 所示。激光冲击(激光冲击功率密度为 1.91 GW/cm²)强化处理区的表面残余应力最大值为-411 MPa，残余应力的影响深度达 2.0 mm；激光淬火强化区残余应力最大值为-198 MPa，大约在 0.45 mm 处，残余应力由压应力转变为拉应力，最大残余拉应力为 197 MPa，残余应力的影响深度大于 1.6 mm；激光淬火+冲击

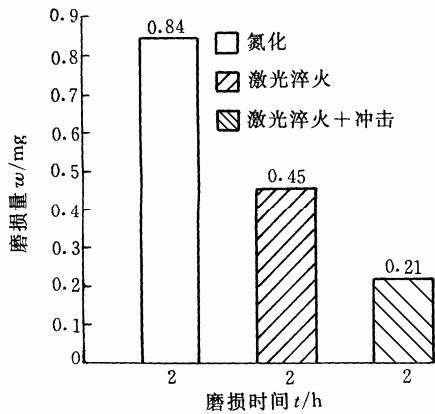


图4 45钢经不同表面处理磨损量的比较

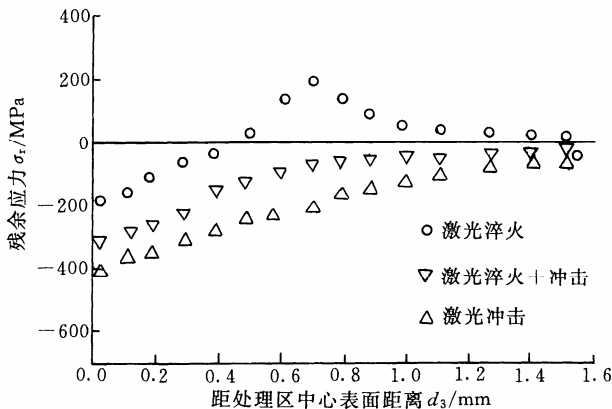


图5 45钢经不同表面处理残余应力比较

(激光冲击功率密度为 $1.87 \text{ GW}/\text{cm}^2$)复合强化处理后的表面最大残余应力为 -336 MPa ,而且完全消除了因激光淬火强化处理而在其表层内部存在的残余拉应力。

3 结论

(1) 激光淬火处理45钢强化区的表面硬度(64 HRC左右)与45钢渗氮区表面硬度(54~56 HRC)较为接近。一般可以认为45钢激光淬火强化处理区的耐磨性能高于其经渗氮处理的耐磨性能是由其高硬度引起的,但这可能只是其中原因之一。而更为主要的原因是由于45钢经激光淬火处理后,在其硬化区中形成了高碳马氏体、高密度位错的奥氏体和索氏体。这些高强韧性奥氏体和细晶高碳马氏体及索氏体,对提高45钢激光淬火处理强化区的耐磨性发挥了重要作用。

(2) 激光冲击强化处理可以进一步提高被处理区材料的位错密度,且位错密度沿层深方向呈梯度分布;其次可使其组织晶粒更加细化;再次,在被强化区材料表层形成了很好的残余压应力。因而它

的外在表现不仅使已淬火区硬度获得了一定增加,而且大幅度地提高了强化区材料的表面抗磨性能。

(3) 激光淬火+冲击复合强化处理大大改善了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,这可能还将有益于提高材料被强化区的抗疲劳性能。

参考文献

- 1 Sagaro R J, Ceballos S, Mascarell J, et al. Tribological behaviour of line hardening of steel U13A with Nd:YAG laser. *Revista de Metalurgia(Madrid)*, 1999, 35(3): 166~172
- 2 Ouyang J H, Li X D, Pei Y T. Structure and properties of laser quenched 4Cr13 steel. *Chinese Journal of Laser*, 1993, B2(5): 475~480
- 3 Fairand B P. Laser generation of high amplitude stress waves in materials. *J. Appl. Phys.* 1979, 50(7): 1 497~1 502
- 4 Grevey D, Maiffredy L, Vannes A B. Laser shock on a TRIP alloy: mechanical and metallurgical consequences. *Journal of Materials Science*, 1992, 27: 2 110~2 116
- 5 Masse Jean-Eric, Barreau Gerard. Laser generation of stress waves in metal. *Surface and Coating Technology*, 1995, 70: 231~235
- 6 Berthe L, Fabbro R, Peyre P, et al. Shock waves from a water-confined laser-generated plasma. *J. Appl. Phys.*, 1997, 82(6): 2 826~2 832

STUDY ON THE EXPERIMENTS OF LASER QUENCHED + SHOCKED PROCESSING 45 STEEL

Hua Yinqun Yang Jichang Yang Xinhua
Cai Lan Zhang Yongkang
(Jiangsu University)

Abstract: It is studied that the hardened zones of 45 steel 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 15% and the wearability enhances 100%. Especially, the residual stress of the interior of the material is changed into compressive stress.

Key words: Laser quenched Laser shocked Hardness
Wear-resistance Residual stress

作者简介:花银群,男,1963年出生,副教授,博士。主要从事激光表面加工方向的研究。