

文章编号: 1001-3806(2002)04-0262-02

激光淬火工艺参数对 40Cr 钢淬硬层深的影响

马奎 杨蕴林 王长生 张柯柯 刘志颖
(洛阳工学院材料工程系, 洛阳, 471039) (中国一拖 704 厂, 洛阳, 471039)

摘要: 用 5kW CW CO₂ 激光器对 40Cr 钢进行了激光淬火试验, 探讨激光工艺参数对淬硬层深的影响。结果表明, 激光功率增大、扫描速度降低、激光束重叠尺寸增大, 则淬硬层深增大, 且扫描速度比激光功率的影响更大。40Cr 钢在功率 1000 ~ 1200W, 扫描速度 15 ~ 30mm/s, 激光束重叠尺寸 1.0 ~ 1.5mm 的工艺条件下淬火, 可获得不小于 0.35mm 的平均淬硬层深。

关键词: 40Cr 钢; 激光淬火; 淬硬层深

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A

Effect of laser hardening technical parameters on hardened depth of 40Cr steel

Ma Kui¹, Yang Yunlin¹, Wang Changsheng¹, Zhang Keke¹, Liu Zhiying²

(¹ Department of Material Engineering, Luoyang Institute of Technology, Luoyang, 471039)

(² 704 Factory of the First Tractor Factory of China, Luoyang, 471039)

Abstract: Laser hardening of 40Cr has been carried out with a 5kW CW CO₂ laser, the effects of laser technical parameters on hardened depth are discussed. The results indicate that the hardened depth increases with increasing laser power or overlap of dimension of laser beam and decreasing speed and that scanning speed is more important to hardened depth than laser power. In a range of laser hardening technical parameters: laser beam diameter: 3mm, laser power: 1000 ~ 1200W, scanning speed: 15 ~ 30mm/s, overlap of dimension of laser beam: 1.0 ~ 1.5mm, a hardened depth of 40Cr no less than 0.35mm can be obtained.

Key words: 40Cr; laser hardening; hardened depth

引言

钢的激光表面淬火具有加热速度快、热影响区小、变形小、淬火硬度高等优点而获得工业应用^[1,2]。一般认为激光功率、光斑直径和扫描速度等参数直接影响淬硬层深, 但即使同一台激光器, 其功率的变化也会引起功率密度分布形式和范围的变化, 给工艺制定带来极大不便^[3]。为此, 进行了激光功率、扫描速度和方式对淬硬层深影响的试验, 并观察了淬硬区组织和显微硬度分布, 以期对钢的激光淬火层深控制提供实验依据。

1 试验材料及方法

试验用钢为 $\varnothing 18\text{mm}$ 的 40Cr 供应态热轧退火圆钢, 加工成 $\varnothing 15\text{mm} \times 25\text{mm}$ 的圆柱试样, 端面经

黑化(涂抹或沉积碳黑)处理后, 在 5kW CW CO₂ 激光器上进行激光淬火, 光斑直径为 3mm, 扫描方式为激光束沿试样端面中心一次扫过(方式)和有重叠的往返扫过整个试样端面, 光束重叠尺寸为 1.5mm(方式)和 1.0mm(方式), 扫描速度为 15 ~ 30mm/s, 激光功率为 1000 ~ 2200W。往返扫描时为防止试样温升过高, 试样放在其四周有流动水冷却的专用夹具上。处理后的试样用线切割沿垂直于扫描方向取样, 在 OL YMPUS PMG3 型显微镜上进行组织观察, 淬硬层深用显微硬度法并配合金相观察予以确认, 层深硬度测量在国产 71 型显微硬度计上进行, 载荷为 100g, 由表面测至母材原始硬度值为止。

2 试验结果及分析

2.1 显微硬度

图 1 是激光淬火后试样表面至心部的显微硬度分布曲线。钢激光淬火的马氏体相变与常规淬火马氏体相变主要不同在于它往往获得极细的片状和板条状马氏体的混合组织, 马氏体及其亚结构细化以

* 激光技术国家重点实验室基金资助项目。

作者简介: 马奎, 男, 1976 年 10 月出生。硕士研究生。现从事激光特种焊接方面研究工作。

收稿日期: 2001-06-11; 收到修改稿日期: 2001-09-11

及晶体缺陷和晶格畸变的大幅度增加,导致激光淬硬层的高硬度^[4,5]。在实验条件下,40Cr 钢表面硬度高达 900 ~ 930HV,而 40Cr

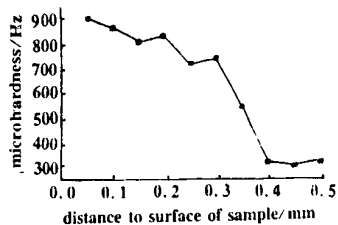


Fig. 1 Curve of micro-hardness distribution

钢常规淬火硬度仅 600HV 左右。此外,测量结果还表明,根据显微硬度分布曲线来确定淬硬层深(表面至母材原始硬度处),其值与金相观察(见图 2)结果基本相符。

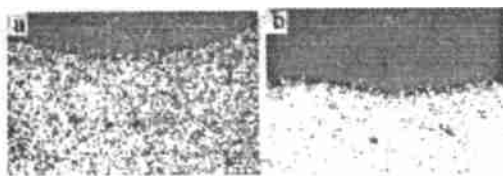


Fig. 2 Appearance character of hardened layer at two scanning mode (5 ×)
a - mode (number 3) b - mode (number 6)

2.2 淬硬层深

图 2 为两种扫描方式下淬硬层的形貌特征,方式 淬硬层剖面呈月牙状,这显然是因为激光光斑能量分布近似为基模高斯分布,即光强从光束中心向外平滑的下降而导致激光能量密度分布不均匀,从而使试样表层被加热区瞬间温升分布不均匀所致^[3];方式 淬硬层剖面呈波节状(波峰与激光束中心对应),这是激光束叠加扫描的必然结果。表 1 为层深测量结果,可以看出,对于方式 ,当 d, v 一定时,最大淬硬层深 h_{max} 随 P 增大而增加,但是 P 达到一定值后试样表面容易出现微熔,这是表面功率密度增大所致。对于方式 ,激光束重叠扫描,其平均淬硬层深 h_a 比方式 中同样激光参数下的 h_{max} 大,但表面质量有所降低,这是试样表面重复受热的必然结果。在方式 ,中, v 一定时,随着 P 的增加, h_a 增大;而当 P 一定时, v 降低, h_a 也增大,但其增大幅度明显高于 P 增大时 h_a 的增大幅度。由此可见,降低扫描速度比增加激光功率对淬硬层深有更大的影响。此外还可以看出,往返扫描由于试样在很短时间间隔内不断被重复加热,故表面更容易出现熔化现象,激光束重叠尺寸增大,此现象更明显。方式 淬火后试样表面质量比方式 要好,但是平均淬硬层深变浅,且其波节状较明显,即淬硬层深分布的均匀性较差。因此,若要获得较深且层深均匀的淬硬层和较好的表面质量,可采用适当的重叠尺寸,在一定的激光功率下用较低的扫描速度对试样进行扫描。根据以上结果,40Cr 钢激光

淬火时若要使平均淬硬层深不小于 0.35mm,且层深分布比较均匀,表面质量良好,建议激光淬火工艺参数为:功率 1000 ~ 1200W,光斑直径 3mm,扫描速度 15 ~ 30mm/s,激光束重叠尺寸 1.0 ~ 1.5mm。

Table 1 The relationship of laser technical parameters and hardened depth

scan mode	sample number	laser power P/W	scanning speed v/mm s ⁻¹	hardened depth h/mm	surface state
	1	1000	20	0.35	not fusion
	2	1200	20	0.36	not fusion
	3	500	20	0.43	dept microfusion
	4	1800	20	0.45	dept microfusion
	5	2200	20	0.48	microfusion
	6	1800	20	0.68	not fusion
	7	2000	20	0.70	microfusion
	8	2000	15	0.81	fusion
	9	1000	20	0.36	not fusion
	10	1200	20	0.38	not fusion
	11	1200	30	0.29	not fusion

注:光斑直径 d 为 3mm;方式 中 h 是指最大淬硬层深 h_{max} ;方式 ,中 h 为平均淬硬层深 h_a

2.3 淬硬层显微组织

激光淬火后表面未熔的试样从表面到心部的组织如图 3 所示,基本上可以分为 3 个区域。最表层为 40Cr 钢完全淬火组织(图 3a),由马氏体和残余奥氏体组成,马氏体为板条马氏体和片状马氏体的混合组



Fig. 3 Microstructure of laser hardened sample
a - zone of complete quench (100 ×)
b - zone of incomplete quench (165 ×)

织,这是因为在激光束作用下试样表层瞬间升温至远高于 AC_3 以上温度,所获奥氏体晶粒极细且奥氏体中碳含量分布极不均匀,从而导致在随后的自激冷过程中,高碳微区的奥氏体转变成片状马氏体,而低碳微区的奥氏体则转变成板条马氏体^[5,6]。由图 3a 还可以看出,在完全淬火层中由表及里,残余奥氏体含量逐渐减少,这是因为最表层的过热度最大,奥氏体均匀化程度相对较高而导致其稳定性增大。完全淬火层以下的次表层为不完全淬火区,该区的形成是由于在激光快速加热时,钢的 AC_1 与 AC_3 尤

$$M = |\tilde{P}_2|/|\tilde{I}_2| = C \sqrt{\frac{1}{(r^2 - \omega^2)^2 + (b\omega)^2}} \quad (9)$$

M 随 ω 的变化曲线如图 3 所示,可见, M 随 ω 的变化存在一最大值,即在 ω_{max} 处,弛豫振荡的影响最大; 远离 ω_{max} 时,可认为 M 为常数,即弛豫振荡对高斯光脉冲输出的影响可忽略。当直流偏置加大时, ω_{max} 向高频移动, M_{max} 减小。

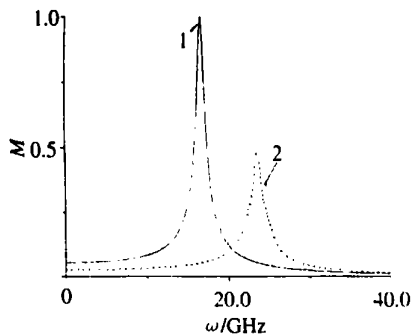


Fig. 3 The variation of normalized M with ω for different I_0
1 - $I_0 = 0.5 I_{th}$ 2 - $I_0 = I_{th}$

令 $dM/d\omega = 0$, 可求得对应 M 最大值 (M_{max}) 的频率为:

$$\omega_{max} = \sqrt{r^2 + b^2/2} \quad (10)$$

由于 b 的值相对很小,可认为 $\omega_{max} \approx r$,即在弛豫振荡频率 r 处, M 接近最大值,弛豫振荡引起的多脉冲对高斯脉冲的影响最大。当直流偏置电流增大时,由(4)式可知, r 随之线性增加,相应地高斯脉冲无畸变输出的范围随着加大。电脉冲宽度较窄时,其相应的频谱范围比较大,即更易引起多脉冲

的产生。

定义直流调制度 F 为:

$$F = (I_1 - I_{th}) / I_{th} \quad (11)$$

式中, I_{th} 为阈值电流。

图 4 给出 M_{max} 随 F 的变化曲线。随着 F 的增大(直流偏置电流的增大), M_{max} 很快减小并趋于常数。即当偏置电流适当加大

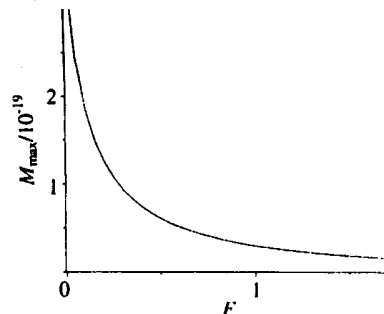


Fig. 4 The variation of M_{max} with F

时,多脉冲的影响相应减小。

从上面讨论可知,使输出脉冲避免多脉冲影响的方法有两种:(1)适当加大直流偏置电流;(2)输入电脉冲的宽度尽量取宽些。需要注意的是,直流偏置并非提高越多越好,偏置太高,由于非线性因素的影响,也会引起信号的失真^[3]。

参 考 文 献

- [1] 许保西,詹玉书,过己吉. 光学学报,1987,7(5):415~420.
- [2] Agrawal G P, Dutta N K. Semiconductor Lasers. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993:275~292.
- [3] Tucker R S. J Lightwave Technol, 1985, L T3(6):1180~1192.

(上接第 263 页)

其是 AC_3 大幅度提高,使次表层在较高温度和很大温度范围内未能完全奥氏体化,铁素体向奥氏体转变和渗碳体溶解不充分,冷却后形成了马氏体和铁素体的混合组织(图 3b)。不完全淬火区与原始组织之间还存在着虽有明显温升但未发生马氏体相变的热影响区。钢激光淬火时加热和冷却速度极快,相变温度发生了明显变化,表层区存在很大的温度梯度,奥氏体成分极不均匀,由此造成了显微组织由表及里的分区^[7]。

3 结 论

(1)激光功率增大、扫描速度降低以及激光束重叠尺寸增大都会使钢的激光淬硬层深变大,且扫描速度比激光功率有更大的影响。试验表明,40Cr 钢在光斑直径 3mm,激光功率 1000~1200W,扫描速

度 15~30mm/s,激光束重叠尺寸 1.0~1.5mm 的工艺条件下,可获得不小于 0.35mm 且均匀的淬硬层深。

(2)40Cr 钢激光淬火较常规淬火有更高的表面硬度,淬硬层主要由完全淬火区和不完全淬火区组成。

参 考 文 献

- [1] 李恒德,肖纪美主编. 材料表面与界面. 北京:清华大学出版社, 1989.
- [2] Carbuicchio M, Meazza G, Palombarin G. Applications of the Mossbauer Effect. USA: Brieach Publishers, 1983.
- [3] 李俊昌. 昆明理工大学学报, 1997, 22(1): 146~153.
- [4] 吴旭峰,张文珍,郭亨群. 光电子·激光, 1998, 9(4): 329~332.
- [5] 刘文今,钟敏霖. 中国表面工程, 2001, 14(1): 36~39.
- [6] 刘江龙,邹至荣编著. 高能束热处理,北京:机械工业出版社, 1997.
- [7] 马 奎,杨蕴林,王长青 et al. 洛阳工学院学报, 2001, 4: 11~13.