

轧钢衬板激光淬火工艺及变形的消除方法

王松伟 谷秀柱 秦生

鑫达钢铁集团有限公司, 河北 唐山 064400

[摘要]激光表面淬火是激光表面改性领域中最先进的技术。它是高能激光束照射到工件表面,使表层温度迅速升高至相变点之上(低于熔点),由于金属良好的导热性,当激光束移开后,通过工件快速的自然冷却,实现材料的相变硬化。文中叙述了激光淬火的工艺特点、以及冶金行业轧钢衬板工作面实施激光淬火工艺参数的优化;淬火后工件变形的消除方法。实践表明经过激光表面淬火,轧机衬板使用寿命提高一倍,使用专用加热设备使工件产生反向预变形,可消除因激光淬火残余应力产生的平面度变形,满足了衬板安装精度要求。

[关键词]激光淬火特点;淬火工艺参数优化;变形消除方法

DOI: 10.33142/sca.v5i1.5555

中图分类号: TG156.3

文献标识码: A

Laser Quenching Process and Deformation Elimination Method of Rolled Steel Liner

WANG Songwei, GU Xiuzhu, QIN Sheng

Hebei Xinda Iron & Steel Group Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 063000, China

Abstract: Laser surface quenching is the most advanced technology in the field of laser surface modification. It is that the high-energy laser beam irradiates the surface of the workpiece to rapidly raise the surface temperature above the phase transformation point (lower than the melting point). Due to the good thermal conductivity of the metal, when the laser beam is removed, the phase transformation hardening of the material is realized through the rapid natural cooling of the workpiece. This paper describes the process characteristics of laser quenching and the optimization of laser quenching process parameters in steel rolling lining face in metallurgical industry; Elimination method of workpiece deformation after quenching. The practice shows that after laser surface quenching, the service life of the lining plate of the rolling mill is doubled, and the use of special heating equipment makes the workpiece produce reverse pre deformation, which can eliminate the flatness deformation caused by the residual compressive stress of laser quenching, and meet the requirements of the installation accuracy of the lining plate.

Keywords: characteristics of laser quenching; optimization of quenching process parameters; deformation elimination method

引言

鑫达集团带钢厂轧机衬板生产过程中长期受轧件的冲击和摩擦,失效的主要形式就是磨损严重,造成间隙过大,不能满足生产工艺要求,从而被迫下线报废。因此提高衬板的耐磨性和冲击韧性亟待解决。我们采用激光淬火表面硬化处理技术很好地解决了这一问题。

1 钢铁材料激光淬火的特点

钢铁材料激光表面淬火后,表层分为硬化区、过渡区和基体三个区域。硬化区与常规淬火相似,过渡区则为部分马氏体转变区域。激光表面淬火对晶粒有明显的细化作用,同时,激光表面淬火热层具有一系列优异的力学性能。

(1) 硬度:激光表面淬火比常规淬火、高频感应加热淬火具有更高的硬度。通常比常规淬火高5%—10%。

(2) 耐磨性:激光表面淬火后淬火热层组织晶粒细小,硬化层深度约为0.2—0.5mm,并且淬火热层深度可以精确控制。材料表面发生马氏体相变,晶粒细化,表面硬度提高,可较大幅度地提高材料表面耐磨性,耐磨性可提高3—4倍。

(3) 残留应力和疲劳性能:材料表面的残留应力是由激光表面淬火处理过程中的组织应力和热应力共同决定的,激光表面淬火的工艺参数对残留应力影响很大。激

光功率密度增加或扫描速度降低,硬化层厚度增加,将会提高表面的残留压应力,相反则硬化层厚度降低,表面残留压应力减小,甚至出现残留拉应力,两次重叠处理极易出现残留拉应力。各种表面淬火工艺的比较如表1、图1所示。

表1 激光淬火和常规淬火的比较

表面淬火方法	淬硬层硬度	淬硬层耐磨性	淬硬层抗疲劳性	淬硬层与基体结合	生产效率(大面积)	可控程度
激光淬火	高	好	好	好	较高	高
感应加热表面淬火	较高	较好	较好	较好	高	较高
火焰加热表面淬火	低	差	差	差	低	低

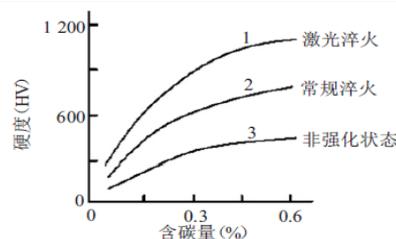


图1 激光淬火与常规淬火比较

2 轧钢衬板激光淬火表面硬化工艺

2.1 激光淬火前表面处理

表 2 常用黑化处理方法

序号	方法	吸收率 (%)	适用钢种	使用效果
1	表面磷化	70~95	中碳钢、铸铁	高合金钢、不锈钢等使用效果不好
2	黑色涂料	90 左右	各种材料	涂层厚度不易控制, 照射时会产生刺眼的亮光和烟雾, 效果不稳定
3	氧化物涂料	95 左右	各种材料	对环境无污染, 胶体涂料喷涂工艺生产效率高, 生产成本低

综合考虑我们采用氧化物涂料工艺对工件表面进行黑化处理。

2.2 激光淬火表面硬化工艺参数的优化

衬板材质为 45#钢, 调质处理后硬度 HRC22-25, 耐磨性差, 寿命短, 不能满足工艺的要求。为此对其工作面进行激光淬火硬化处理, 同时保证衬板又有一定的冲击韧性, 淬火后硬度 HRC32-42。

我们对轧钢衬板进行激光淬火表面硬化试验, 以寻求最佳工艺参数, 使其既具有很好的耐磨性又具有一定的冲击韧性。

试件材质: 45#钢; 尺寸: 750x300x30mm; 激光淬火前调质处理硬度 HRC22-25; 数量 28 件。

表 3 45#钢的化学成分

材料名称	C%	Si%	Mn%	P%	S%
45#钢	0.45	0.27	0.64	0.016	0.0022

表 4 45#钢的机械性能

抗拉强度 σ_b Mpa	屈服强度 σ_s Mpa	伸长率 δ_s (%)	断面收缩率 ψ %	冲击功 AkV (J)
≥ 600	≥ 355	≥ 16	≥ 40	≥ 39

表 5 试验数据统计

序号	激光功率 W	光斑尺寸 mm	扫描速 mm/s	淬火深度 mm	表面硬度 HRC
1	1600	17x3	6	0.94	30
2	1650	17x3	6	1.22	31
3	1700	17x3	6	1.28	32
4	1750	17x3	6	1.32	33
5	1800	17x3	6	1.34	34
6	1850	17x3	6	1.33	35
7	1900	17x3	6	1.35	36
8	1950	17x3	6	1.38	34
9	2050	17x3	6	1.32	32
10	2100	17x3	6	1.28	30
11	2150	17x3	6	1.23	28
12	2000	17x3	3	1.38	36
13	2000	17x3	4	1.35	34

序号	激光功率 W	光斑尺寸 mm	扫描速 mm/s	淬火深度 mm	表面硬度 HRC
14	2000	17x3	5	1.29	33
15	2000	17x3	6	1.27	31
16	2000	17x3	7	1.25	30
17	2000	17x3	8	1.23	28
18	2000	17x3	9	1.21	26
19	2000	17x3	10	1.18	24
20	2000	17x3	11	0.98	22
21	2000	13x3	9	1.26	42
22	2000	14x3	9	1.23	40
23	2000	15x3	9	1.20	38
24	2000	16x3	9	1.15	36
25	2000	17x3	9	1.10	34
26	2000	18x3	9	0.98	32
27	2000	19x3	9	0.94	30
28	2000	20x3	9	0.89	28

3 实验结果的分析

3.1 激光参数与淬火深度的关系

图 2 示出 45#钢衬板在激光淬火后的淬火深度与激光功率的关系。从图中看到在同一扫描速度和光斑尺寸下, 激光功率的增高, 可使激光淬火深度加深。这是因为在其他工艺参数和条件相同的情况下, 随着功率的增大, 试样表面所获得的能量就相应升高, 致使加热温度升高, 晶粒得到细化, 完成马氏体相变后 45#钢硬化层深度加大, 最大深度可达 1.38mm。但激光功率过大, 晶粒变大, 加热温度超过了材料的熔点, 表面熔化, 硬化层深度反而降低。故当功率大于 1950W 时, 导致硬化层及硬度随着功率的升高反而降低。

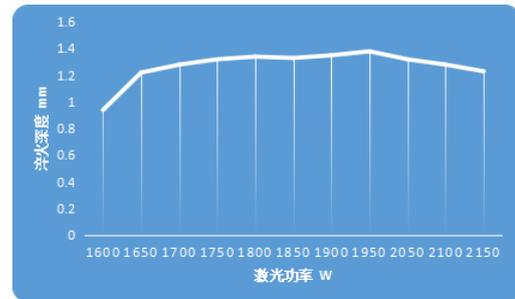


图 2 硬化深度与功率关系

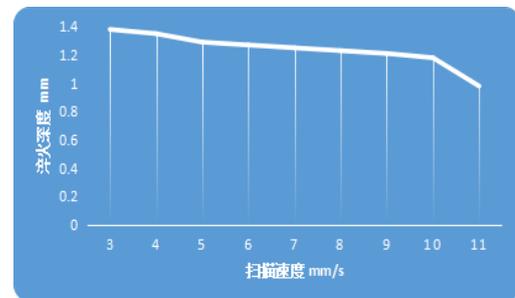


图 3 硬化深度与扫描速度关系

图 3 为激光扫描速度对 45 #钢激光淬火表面硬化层深度的影响。由图 3 可见，在 5 mm/s 至 8 mm/s 之间，45 #钢的表面硬化层基本不变，当超过 9 mm/s 后，硬化层深度显著下降。这是因为随着扫描速度的提高工件表面吸收的热量减少，晶粒得不到充分细化，马氏体相变也不完全所致。

图 4 可见，随着激光光斑尺寸的变大，45# 钢表面硬化层深度逐渐降低。其原因是：在其他工艺参数和条件相同的情况下，光斑尺寸决定了激光功率密度的大小，光斑尺寸越大，功率密度越小，试样表面单位面积上所获得的能量就相应降低，致使加热温度降低，从而导致了表硬化层深度降低，硬度随之也降低。

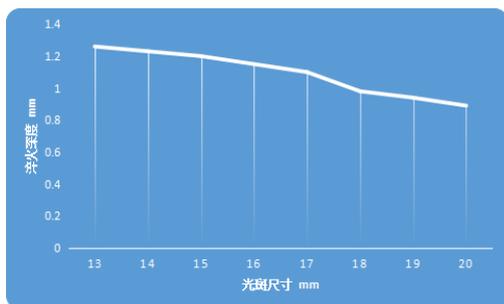


图 4 硬化深度与光斑尺寸关系

3.2 激光淬火后的组织及性能

由于工件进行了黑化处理，使得激光淬火后可得到一个较宽的相变硬化区域，其硬化层宏观结构及显微组织结构见图 5，硬度变化情况见图 6。

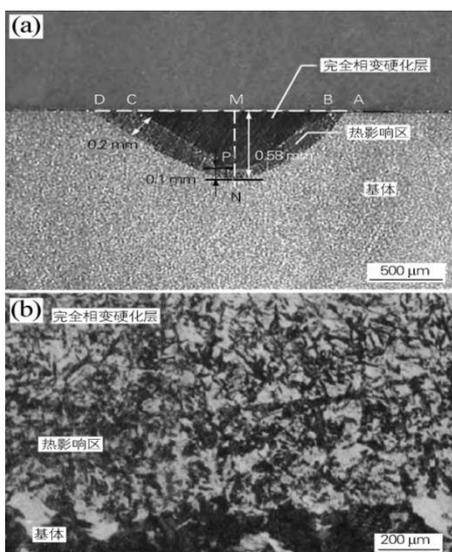


图 5 试样截面宏观结构 (a) 和表层 (b) 显微组织

图 5 (a) 为 45#钢工件激光淬火后的截面宏观结构，由图 5 (a) 可见，完全相变硬化层的深度为 1.38mm，宽度为 3mm，热影响区的厚度为 0.2~0.4 mm。图 5 (b) 为 45#钢工件激光淬火后的显微组织，由图 5 (b) 可见，最表层为完全相变硬化层，由于高功率密度激光辐照，试样表

面升温最快，温度最高，组织是在极大的过热度和过冷度下进行的，碳以及其他合金元素扩散不充分，使得各部分马氏体转变温度有很大差异，故该层组织为含碳量不均的针状马氏体和残留奥氏体。第二层为热影响区，由于其加热温度在 Ac1 ~ Ac3 之间，且由表及里随距离呈梯度下降，温度梯度相对较小，作用时间短，原子的扩散和迁移不明显，相变不充分，未能达到完全奥氏体化，故该层组织由完全马氏体逐渐转变为珠光体和铁素体组织。第三层为基体，该层温度较低，未发生组织转变，仍为珠光体加少量铁素体。

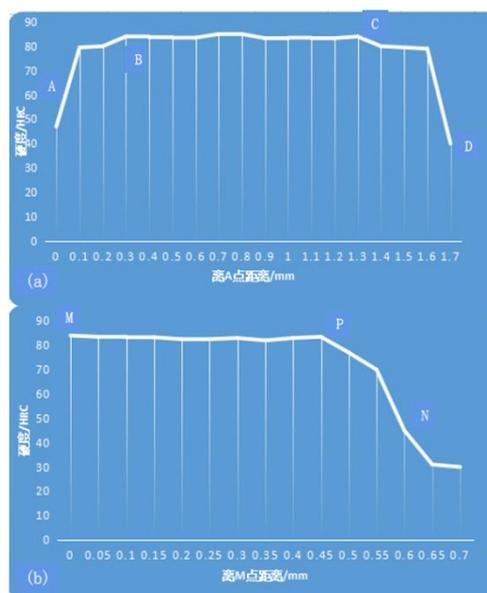


图 6 工件试样淬火区显微硬度分布 (a) 宽度 (b) 深度

图 6 为激光淬火区显微硬度沿深度和宽度的变化趋势。沿深度方向由于工件表层受激光的照射最充分，吸收热量最多，晶粒细化和相变最彻底，所以表面硬度最大。沿宽度方向，由于接受激光的热量变化不大，因此 BC 段硬度变化不大；AB 段和 CD 段由于工件吸收激光能量不足，相变不充分，硬度值很低。

3.3 激光淬火后变形的原因分析及消除方法

轧机衬板表面的残留压应力是由激光表面淬火处理过程中的组织应力和热应力共同决定的，此压应力过大时会使工件淬火后产生变形，影响安装精度和正常使用，见图 7。



图 7 轧机衬板激光淬火实物

3.3.1 原因分析

激光表面淬火后工件产生的变形的主要原因是由于

淬火时形成内应力。根据淬火内应力形成的原因不同可分热应力与组织应力两种。

工件在加热和(或)冷却时由于不同部位存在着温度差别而导致热胀和(或)冷缩不一致所引起的应力称为热应力。热应力引起工件变形特点时:使平面变为凸面,直角变钝角,长的方向变短,短的方向增长,终趋势是使工件趋于球形。

钢中奥氏体比体积小,奥氏体转变为其他各种组织时比体积都会增大,使钢的体积膨胀;工件淬火时各部位奥氏体转变先后不一致,因而体积膨胀不均匀。这种由于激光淬火过程中各部位冷速的差异使工件各部位相变的不同时性所引起的应力,称为相变应力(组织应力)。组织应力引起工件变形的特点:使平面变为凹面,直角变为钝角,长的方向变长,短的方向缩短,终趋势是使尖角趋向于突出。综合分析可知图7工件出现上翘变形应是工件内部残留组织应力所致。

激光表面淬火的工艺参数对残留组织应力影响很大。一般来讲,激光功率密度增加或扫描速度降低,硬化层厚度增加,将会提高表面的残留组织应力,相反则硬化层厚度降低,表面残留组织应力减小。

3.3.2 消除变形的措施

根据上述产生变形的原因分析选择合适的激光功率。表6是不同激光功率下的工件变形量。

表6 激光功率、变形量与表面硬度

激光功率 W	1600	1700	1800	1900	2000
变形量 mm	0.92	1.12	1.2	2.1	2.6
表面硬度 HRC	37	37.5	36	34	34

3.3.3 预热工件做反变形

淬火后的工件受压应力作用出现上翘变形,为此用专用加热设备对淬火面进行均匀加热,以使工件内部受热膨胀后

产生拉应力,从而工件有一定的下翘变形量,这样在进行激光淬火时与受压应力产生的上翘变形相互抵消,最终工件冷却到室温后基本无变形,满足安装精度的要求。见表7。

表7 加热温度、加热时间与变形量

加热温度℃	80	100	120	140	160	180	200	220
加热时间 min	8	10	12	14	16	18	18	18
变形量 mm	5	4.2	3.4	2.8	1.0	1.5	1.8	2.2

4 结语

(1) 综上所述轧机衬板既满足激光淬火后的硬度HRC32-42,又不产生影响安装精度的变形的最佳工艺参数为:功率P=1600-1700W,扫描速度V=8-10mm/s,光斑宽度W=15-17mm。

(2) 消除变形的加热温度 T=160℃,加热时间 t=16min,控制变形量 $\Delta \leq 1\text{mm}$ 。



图8 激光淬火中



图9 最终成品

[参考文献]

- [1]许并社.激光表面处理现状及趋势[J].中国热处理技术路线图高层论坛暨第八届中国热处理活动周论文集,2012(6):6-7.
- [2]符轲,张修庆,续晓雷等.45#钢激光淬火工艺优化及性能[J].金属热处理,2017(1):9-8.
- 作者简介:秦生(1967-)男,本科,工学学士,高级工程师,主要从事激光应用工作。