

大型轧辊快速刻花刻花点的微观结构研究*

朱大庆^a 左都罗^a 李适民^a 周新军^a 刘建功^b
(^a华中理工大学激光加工国家工程研究中心, 武汉, 430074)
(^b武汉钢铁公司, 武汉, 430083)

摘要: 通过扫描电镜研究了激光刻花轧辊上刻花点的微观结构。研究表明, 激光刻花后材料表面及附近有四个部分: 熔凝区、相变区、热影响区和基材区; 由于快速熔凝过程产生的极大过冷度, 熔凝区主要是超细的微晶状的枝晶和胞状组织, 其组织均匀, 且极为致密, 因而其硬度与耐腐蚀性能大大提高; 激光扫描速度对相变硬化区和热影响区的大小有极大的影响。

关键词: 大型轧辊 激光刻花 微观结构

Studies on the microstructure of the textured point on laser textured huge rolls

Zhu Daqing^a, Zuo Duluo^a, Li Shimin^a, Zhou Xinjun^a, Liu Jianguo^b
(^a National Engineering Research Center for Laser Processing, HUST, Wuhan, 430074)
(^b Wuhan Iron & Steel Co., Wuhan, 430083)

Abstract: This paper studied the microstructure of laser texture rolls by SEM. After laser caved, the four regions named melt region, phase change region, thermal effective region and substrate region, are formed near the surface. Due to the very large super cooling rate brought by rapid solidification, the melt region consists of very fine microfine dendritical or cytostate organization, which is well-distributed and fine and compact. So the hardness and anti-etching performance of the melt region are greatly improved. Furthermore, the scanning speed has an important influence on the size of phase change region and thermally affected region.

Key words: huge roll laser texturing microstructure

引 言

轧辊激光刻花(毛化)技术最早是由比利时的 CRM 发展起来的。经过激光刻花处理后的轧辊轧制出来的钢板与经过传统工艺处理的轧辊轧制出来的钢板相比, 具有深冲性能好、光亮度高和油漆附着性好的优点。在轿车、高档家电中应用广泛。另外, 激光毛化使得轧辊寿命大大提高^[1]。

激光刻花过程本质上说是一种激光表面重熔过程, 有不少文献研究了激光表面重熔过程和激光表面重熔对材料表面性能的影响^[1]。但是, 由于激光快速刻花过程是一种激光脉冲与材料的极快速作用过程, 其扫描速度为 2m/s 的量级, 比一般的激光表面重熔的速度(约 $10^{-3} \sim 10^{-2}$ m/s) 大几个量级, 激光与材料的作用时间短(10^{-4} s), 导致材料熔化与冷却速率极高

* 国家自然科学基金资助。

(10^7K/m), 因此, 快速激光刻花的物理机制与普通的激光表面重熔有一定的差别。已经有文献介绍了激光刻花技术和激光加工参数对轧辊表面型貌与性质的影响^[2~5], 但主要是研究激光刻花后轧辊表面的型貌和粗糙度以及与传统毛化工艺的比较, 对激光刻花后轧辊表面的微观结构很少涉及。我们通过 SEM 研究了经过快速激光刻花后刻花点的微观结构, 其结果对于理解快速激光刻花过程中熔池内的热物理过程与机理有一定的帮助, 从而有助于优化加工参数和加工工艺。

1 实验内容

用高功率轴快流 CO_2 激光器对轧辊进行毛化, 轧辊材料 9Cr2Mo。激光功率为 1300W, 光斑直径约 0.1mm。刻花的密度控制在 5 点/mm。刻花频率选用 12kHz 和 8kHz(分别对应扫描速度 2.4m/s 和 1.6m/s)。为了防止表面氧化, 侧吹气体用 CO_2 或 N_2 , 并用 45° 角侧吹。实验样品经过打磨后, 用 W3.5 抛光膏机械抛光, 然后用硝酸酒精腐蚀。用 JSM-35C 扫描电镜进行微观分析。

2 实验结果

由 JSM-35C 扫描电镜所得的照片如图 1, 其中图 1a~图 1c 为与扫描方向平行的面, 图 1d 的平面与扫描方向垂直。从图 1a 可以看出, 刻花点及其附近明显分为四个区域: 熔凝区、相变硬化区、热影响区和基材区。熔凝区的深度约为 $30\mu\text{m}$, 宽约 $80\mu\text{m}$, 长约 $100\mu\text{m}$ 。除熔凝区外, 其它 3 个区域都可以看出晶粒的大小, 约为微米量级, 而熔化区则看不出晶粒的大小。这表明在熔化区晶粒比其它区域小得多。在普通的金相显微镜下, 同样看不出熔凝区的组织, 只能看出基材的组织为隐针马氏体、粒状碳化物和残余奥氏体(本轧辊材料的常规组织)。



Fig. 1 The microstructure photographs near the melt surface by SEM

a-390 \times , 8kHz b-390 \times , 12kHz c-2000 \times , 8kHz d-900 \times , 8kHz

由图 1c 和图 1d 看出, 在熔凝区是铸态结构, 为致密的晶枝。结晶开始于熔池底部并以柱状晶形态顺着冷却方向向热源推进, 发展成为树枝晶。此外, 由图 1c 还可以看到比枝晶还细小的胞状组织。另外, 在相变硬化区、热影响区和基材区有粒状碳化物, 而在熔化区则是枝状碳化物。从图 1 的 a~d 还可以看出, 在相同的腐蚀条件下, 其它区域明显比熔凝区腐蚀得深。

从不同的扫描速度的照片(图 1a 和图 1b) 可以看出, 在高扫描速度下, 相变硬化区和热影响区与熔池区的比例比低扫描速度下的小。如在 8kHz 的频率下(1.6m/s), 相变区和热影响区的厚度比熔池的深度要大, 相变硬化区与热影响区分界明显, 而在 12kHz 的刻花频率下(2.4m/s), 相变硬化区和热影响区的厚度比熔池的深度要小, 并且由于厚度小, 相变区和热影响区分界不是很清楚。

3 分析与讨论

熔凝区的晶粒比其它区域的晶粒小得多, 在放大 390 倍后仍然看不出晶粒大小。熔凝区

的结构是铸态结构,为极其致密的晶枝。这是由于激光刻花过程是快熔快凝过程,形成结晶方向大致与温度梯度方向相同的组织,其明显特点为:由于急剧冷却产生的极大过冷度,使得形核率大大超过晶核生长速度,得到的组织极细,使得熔池区的结构致密,形成微晶状枝晶结构。普通的激光熔凝产生的铸态组织与普通的铸态组织相比,要致密 10^3 倍^[7],激光刻花的功率密度比一般的激光熔凝大,加工速度也要高一到两个量级,因此,在普通的金相显微镜下看不出熔凝区的组织,只能看出基材的组织为隐针马氏体、粒状碳化物和残余奥氏体(本轧辊材料的常规组织)。

熔化区的枝状碳化物是由于高功率密度的激光脉冲将材料快速熔化时,将粒状碳化物熔化掉,并由于有表面张力梯度引起的熔池内熔质的快速流动(相对基材速度约为 10m/s ^[6]),使得熔池内材料分布均匀,然后在极大的冷却速度(当刻花频率为 10^4Hz 时,冷却速度约为 10^7K/s)下,均匀析出了大量的超细的枝状和胞状碳化物。这种分布均匀的细小碳化物在熔凝区上大量析出是熔凝区强度和耐腐蚀能力增加的主要原因。而热影响区,由于碳浓度的不均匀性和极大的温度梯度使得可能产生不同型貌和亚结构同时存在的混合组织结构,因而在热影响区,材料的耐腐蚀能力最差,硬度最低,这些可以从图1和文献[5]中看出。例如,在基材上,硬度为640左右(维氏硬度),而熔凝区的硬度高达 840 ^[5]。而从图1可以明显看出,在相同的腐蚀条件下,热影响区被腐蚀得最深,而熔凝区被腐蚀得最少。

通过上面的分析讨论可知,激光刻花过程是速度极快的快熔快凝过程,在刻花过程中,表面张力梯度产生的力引起了熔池内熔质快速流动,同时由于具有极高的冷却速度(10^7K/s),因而在熔凝区内形成了均匀的极其致密的超细枝晶组织,并均匀析出了大量的超细的枝状和胞状碳化物。这些均匀的极其致密的超细组织大大改善了材料的耐磨性能、硬度和耐腐蚀性能,可以增加轧辊的使用寿命。生产实践的数据表明,经过激光刻花处理的轧辊的平均寿命比传统工艺毛化的轧辊的平均寿命提高约12.5%。

4 结束语

由于激光刻花加工速度极快的特点,在材料冷却过程中产生了极大的过冷度,使得刻花点的组织为均匀的极其致密的超细枝晶组织,与普通激光熔凝产生的组织相比,其结构更为致密,耐磨性、耐腐蚀性和硬度大大提高,因此,也可以大大提高轧辊的使用寿命。

激光扫描速度对熔凝区、相硬化区和热影响区的大小有较大影响。特别是熔凝区与相硬化区和热影响区的比例。激光扫描速度高,该比例就小,有利于刻花点与基材的结合。

参 考 文 献

- 1 Loosen P. Proc SPIE, 1993; 1810: 26~ 33
- 2 陈光南. 应用激光, 1996; 16(4): 155~ 158
- 3 Furukawa, US P, 4798772, 1989
- 4 Kusaba, Abe, Torao *et al.* US P, 4841611, 1989
- 5 朱大庆, 李适民, 左都罗 *et al.* 激光与红外, 1996; 26(3): 172~ 174
- 6 Chan C L, Mazumder J, Chen M M. J A P, 1988; 64(1): 6166
- 7 葛云龙, 胡壮麒, 高 薇 *et al.* 金属学报, 1984; 20(2): 71

*

*

*

作者简介: 朱大庆,男,1966年10月出生。博士研究生。现从事激光加工工艺方面的科研工作。