

18

# 渗硼层激光改性机理初探\*

105-108

## Preliminary Study on Laser Property Improving for Boronized Layer

TG156.87

谭继福  
Tan Jifu

冯志刚 ✓  
Feng Zhigang

韩志范  
Han Zhifan

(重庆大学冶金系, 重庆, 630044)

**摘要** 研究了激光处理对20CrNiMo钢渗硼层组织性能的影响, 并结合激光加热的特点对渗硼层激光改性机理进行了探索。研究表明: 渗硼层激光改性处理, 由于改变了渗层的组织结构, 增加了渗层厚度, 从而在保持高硬度和耐磨性的同时, 降低了渗层脆性。

**关键词** 渗硼; 激光加热; 组织结构

中国图书资料分类法分类号 TG156.87

钢, 热处理

**ABSTRACT** The effects of laser treatment on morphology of Boronized Layer of 20CrNiMo steel are studied in this paper. And laser property improving on the layer are initially discussed. The research indicates that laser treatment will change its morphology, increase thickness and reduce brittleness of the layer, without reducing hardness and wear resistance. **KEYWORDS** boriding; laser heating; organization

### 0 引 言

渗硼作为表面强化的一种工艺, 由于形成具有特殊物理性质的硼化物相, 从而赋予材料表面以高的硬度和耐磨性, 因此在机械制造业中得到了广泛应用。然而大量研究成果表明<sup>[1~3]</sup>: 由相变反应扩散形成的渗硼化合物中的 FeB, Fe<sub>2</sub>B 相属金属间化合物, 其本身具有硬度高、脆性大的特性, 并且双相硼化物(FeB 和 Fe<sub>2</sub>B)之间, 单相硼化物与基体之间, 无论是晶体结构, 还是比容和热膨胀系数, 均不相同, 使渗硼层内存在较大的内应力, 容易产生裂纹。此外渗硼处理在渗硼层内存在的孔洞和疏松组织为裂纹的扩展制造了有利条件, 易引起渗硼层龟裂剥落。因此, 如何在保持渗硼层高硬度、高耐磨性的同时, 减弱其渗层脆性, 增加渗层厚度, 是进一步开发渗硼技术要解决的问题。近年来, 已开发出一些新工艺, 如渗硼共晶化处理<sup>[4]</sup>, 硼基共渗复合处理\*\*等等。本文从激光热处理的角度, 研究渗硼激光复合处理的组织性能, 并对其改性和机理进行初探。

\* 收文日期 1993-02-12

\*\* 孙希泰, 钢中渗硼现状及发展方向, 全国第三届渗硼学术会议论文, 1985

### 1 实验方法

试样采用石油钻头轴颈材料20CrNiMo钢,采用930℃、固体渗硼5h,其渗硼层组织(图1)为Fe<sub>2</sub>B+少量FeB和Fe<sub>3</sub>(C·B),层厚δ为110μm,激光处理采用2kWCO<sub>2</sub>连续激光器,和用FANUC数控机床控制激光处理工艺,处理过程中采用氮气保护,防止熔池氧化。



图1 20CrNiMo 渗硼层300×

### 2 结果与讨论

渗硼激光改性复合处理就是把渗硼后获得一定厚度硼化层的钢件,在 高能密度激光束作用下,使渗层熔化并快速冷凝成共晶型组织的处理工艺,渗硼层经激光处理以后其相组成,组织形态大小及分布、渗层厚度、硬度等都有明显的变化。

#### 2.1 激光处理后渗硼层组织特征

随着激光功率、扫描速度 $v$ 等工艺参数的改变,渗硼层在激光作用下将发生不完全熔化和完全熔化两种情况。图2为激光处理后渗硼层发生不完全熔化的组织形貌,据此可分为:1)表层硼化物熔化区;2)次表层硼化物未熔区;3)共晶化转变区;4)相邻基体淬硬区;5)基体。



图2 激光处理渗硼层不同区域 300×  
1200 W, 800 mm/min

与图1原始渗硼层相比较,在激光作用下,渗硼层表面吸收激光能量大,首先熔化。

由于由表及里所吸收的激光能量逐渐降低,在次表层仍存在尚未熔化的渗硼层,其形成仍保持较大的条、块状。而在第3区域,由于硼化物齿顶、齿间与过渡区交界面共晶点较低,开始熔化从而产生共晶化转变,产生更为细小的硼化物相。随着激光能量密度的增加,过渡区共晶化转变更加充分(如图3)。

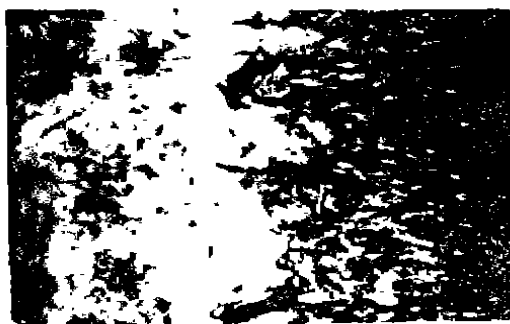


图3 渗硼层过渡区共晶化转变 300×  
(1200 W, 600 μm/min)

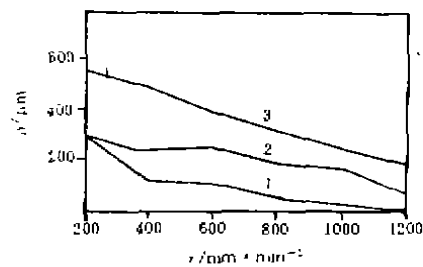


图1 扫描速度对各区域厚度的影响  
(1200W)

在功率一定时,测量不同扫描速度下表面熔化区、共晶化转变渗硼层(1+1+3区)以及总强化层(1+2+3+4区)厚度的变化规律(图4),可以发现,随着扫描速度的降低,试样吸收激光能量增加,共晶化程度以及总强化层深度增加。当扫描速度降至200 mm/min时,渗硼层发生完全熔化,共晶化转变程度趋于完全,此时完全改变了原始渗硼层硼化物柱状晶的择优取向,晶粒尺寸也变得细小(图5)。经x射线物相分析表明该组织为 $Fe_2B$ 初生相+ $B(\gamma-Fe+Fe_2B)$ 过共晶组织(图6)。

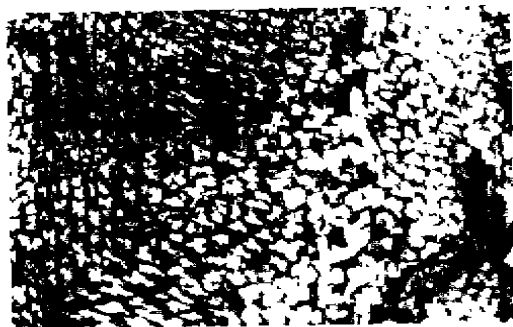


图5 渗硼层完全共晶化组织形貌 500×  
(1200 W 200 mm/min)

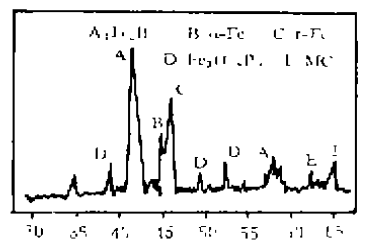


图6 渗硼层完全熔化x射线图谱

## 2.2 激光处理对渗硼层性能的影响

图7为渗硼层激光处理后的硬度变化规律。可见,在扫描速度为600 mm/min时渗硼层共晶化转变不完全,表面只是 $Fe_2B$ 熔化,晶粒变得细小,其硬度变化不大。而在过渡区由于发生了共晶化转变,以及相邻基体发生马氏体转变,使其硬度梯度变得平缓。当扫描速度为200 mm/min时,渗硼层完全熔化得到硼化物+共晶体组织,其硬度降低到1300 Hv左右。由于激光作用时间长,渗硼层吸收能量增加,过渡区共晶化转变区加宽,以及相变区增厚,其硬度梯度更为平缓。

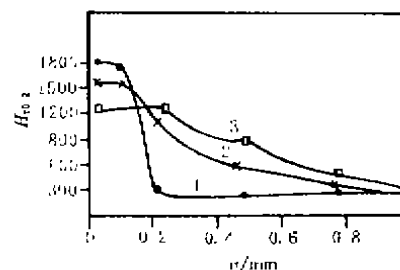


图7 扫描速度对硬度影响

为了评估激光处理对渗硼层脆性的影响,文献<sup>[5]</sup>对其断口分析发现:原始渗硼层断口呈沿晶断裂特征,而激光处理后表层断口分为两个区域,外层对应于共晶化处理的渗层呈韧窝特性、对应于马氏体相变区为准解理断裂。此外,原始渗硼层有崩裂和基体剥落现象。经激光处理后由于共晶区与相变硬化区结合良好,未见渗层剥落。

## 2.3 渗硼层激光改性机理探讨

由 $Fe-B$ 二元相图<sup>[6]</sup>可知,当含硼量为0.021%的奥氏体与含硼量为8.83%的 $Fe_2B$ 一起加热到共晶温度时,便发生共晶反应冷却后得到含硼量为3.8%的 $\gamma(\alpha)+Fe_2B$ 共晶组织。从前面的组织观察中发现,无论渗硼层是否完全熔化,都发生了共晶转变。在激光作用时间(0.18~0.90 s)如此短暂的情况能产生20~210  $\mu m$ 的共晶化区,这是常规共晶化处理工艺无法实现的。因此可以预料,激光处理渗硼层产生共晶化转变存在一种特殊转变机制。在激光作用下, $Fe_2B$ 与过渡区界面共晶点较低,界面首先熔化,伴随着硼、碳原子的再分布, $Fe_2B$ 、 $\gamma$ 相逐渐向液相熔入,并随之冷却得到共晶组织。因此渗硼层激光处理共晶化转变机理仍然

包括熔化、扩散、结晶三个基本过程。

1) 熔化:在渗硼过程中,由于过渡区富集了大量的碳,从而使界面熔化温度降低,因此,在表层未完全熔化时,在硼化物到 $\gamma$ 相界面就开始熔化, $Fe_2B$ 针尖变得平坦(图3)。在界面熔化的同时,由于激光快速加热产生很大热应力,使得脆性较大的硼化物针发生破碎,成为断断续续的 $Fe_2B$ 小块(图3),因而增加了 $Fe_2B$ 与过渡区 $\gamma$ 相的界面,加剧了 $Fe_2B$ 的熔化。所以,激光处理过程中过渡区共晶化转变熔化包括 $Fe_2B$ - $\gamma$ 相界面熔化和 $Fe_2B$ 破碎熔化两种机制的综合作用。

2) 扩散:硼化物和 $\gamma$ 相向液相的熔入受C、B原子扩散所控制,在激光短时间作用下,原子的扩散分布机理相当复杂,伴随着固-液界面向内推移。由于在激光能量的作用下,硼原子被激活,有足够的能量克服周围原子的束缚,同时在较大浓度梯度和温度梯度的作用下,向内扩散。另外,在冷却过程中,由于激光快速加热以及快速冷却,显微畸变增大,位错密度增高等特点均可加速原子的扩散。在硼化物长大过程中正如钢在辉光放电条件下形成硼化物层那样<sup>[7]</sup>,硼原子的扩散主要沿生长的硼化物晶界进行。由晶界扩散效应知,表面和界面的扩散速度较晶内扩散大得多,随着硼原子的快速扩散,硼化物也不断沿热流方向连续长大,形成(图2,图3)过渡区中细小纤维状的硼化物组织。

3) 结晶:激光加热的能量绝大部分储存在材料表面薄层内,这些热量主要靠材料自身冷却传走。冷却速度极快( $10^4 \sim 10^6$  K/s),使得晶核未进一步长大就凝固下来,因而得到的晶粒非常细小。尤其渗硼后,过渡区因溶少量硼,促使奥氏体晶粒长大,通过激光快速相变后,使奥氏体晶粒细化,消除了常规渗硼层共晶化处理工艺<sup>[4]</sup>后,过渡层硼化物沿粗晶界呈网状分布的组织,从而降低了晶界脆性,防止沿晶脆断。

### 3 结 论

1) 渗硼层经激光改性处理后,其组织形态发生了很大变化,由细小的点块状初生相 $Fe_2B$ 分布在韧性较好的共晶体基体上,改变了渗硼层柱状晶择优取向的特征。

2) 激光作用下渗硼层区发生了共晶化转变,以及相邻基体发生了相变硬化,增加了强化层厚度,过渡区硬度梯度变得平缓。

3) 激光处理通过改善渗硼层组织形态和硬度梯度,降低了其脆性。进一步研究渗硼层激光快速共晶化处理的机理,可望探索出一条改善渗硼层性能的有效途径。

### 参 考 文 献

- 1 王超. 渗硼层疏松的影响因素及产生机制. 金属热处理, 1989, (3): 21~28
- 2 陈行康. 渗硼共晶化复合处理. 金属热处理, 1988, (12): 3~5
- 3 谢译嘉. 理化检验(物理分册). 上海: 中国机械工程学会理化检验学会, 机械电子部上海材料研究所, 1985, 16~17
- 4 罗兆红. 18Cr2Ni4WA 钢硼共晶处理工艺的初步探讨. 热加工工艺, 1989, (3): 3~6
- 5 杨承杰. 表面渗硼层改性的研究. 上海金属(钢铁分册), 1989, 11(2): 35~37
- 6 Matuschka, A. Gf. V. 渗硼. 北京: 机械工业出版社, 1987, 37~40
- 7 Tadeuz Wierzechon. 钢在辉光放电条件下形成硼化物层的主要原因. 国外金属热处理, 1989, 10(1): 12~16