

碳钢表面氮硼激光合金化的研究

张思玉 郑克全 郑立

(兰州大学, 兰州)

摘要: 本文介绍了用CO₂激光束对45钢表面进行激光合金化的处理, 对合金层的相结构, 元素分布, 显微组织, 硬度和耐磨性进行了测试和分析, 结果表明, 合金层的性能产生了多种强化效应。

Study of N-B laser alloying in the carbon steel surface

Zhang Siyu, Zheng Kequan, Zheng Li

(Lanzhou University)

Abstract: The article presents our experimental procedure of N-B alloying in the 45 steel surface by a CO₂ laser beam. The phase structure, the distribution of the elements, the microstructure, the hardness and the resistance to abrasion of the alloy layer are examined and analyzed. The results indicate that the alloy layer will provide many strengthening effects.

一、引 言

众所周知, 金属及合金的整体性能在很大程度上取决于金属和合金表面性能。为了有效地改变低质钢材表面的化学成分以提高表层的硬度和耐磨性能, 实验采用碳钢作基体, 并用氮化硼作合金化元素, 即把氮和硼两种元素渗入基体中, 它能生成具有氮化物和硼化物相为基的合金复盖层, 它具有较高的耐磨性能。激光束是一种高能量密度热源, 采用大功率连续波CO₂激光束对金属材料表面进行激光合金化处理已有报道^[1~4]。本文描述在碳钢表面涂敷氮和硼两种作合金元素经激光合金化处理后, 能在碳钢表面生成一层银白色致密无孔、硬度和耐磨性能都很高的合金层, 实验表明这种方法可能在低质钢材表面得到优异性能的合金层。

二、实验条件和方法

[7] Hill C A, Hall D R. IEEE J Q E, 1986, QE-22(7): 1078~1087

[8] Park D, Hart R A, Newman L A. Experimental and theoretical study of CO₂ staggered hollow-bore array lasers. AD-212921, 1989: 19

*

*

*

收稿日期: 1991年6月5日。

收到修改稿日期: 1992年3月18日。

实验采用普通45钢作基体金属材料,加工成 $20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 9\text{mm}$ 的块状,要经研磨、去油和清洁处理。

合金化元素采用白色氮化硼(BN)粉末,并研磨成粒度小于250目的微粒,用有机粘剂将粉末调合成均匀的糊状后,涂敷在基体的表面上,厚度约为 $0.2\text{mm} \sim 0.3\text{mm}$ 左右。

使用的横向流动 CO_2 激光器,输出功率 $500\text{W} \sim 2000\text{W}$ 连续可调,激光束用硫化镓镜聚焦成直径为 3mm 的光斑。在实验中激光功率控制为 1.8kW ,激光束扫描速度能适当调节,用氮作保护气体。

三、实验结果分析

1. 氮硼元素在共渗层中的分布

用PHI-595型俄歇电子能谱仪对共渗层由表及里的共渗元素氮硼做了线扫描观察,如图1所示为共渗层的俄歇电子线扫描能谱图。从图中可见氮硼两元素均渗入了45钢表层,扫描谱线起伏不大,说明沿共渗层深度两元素分布比较均匀,且图谱中氮的俄歇电子计数率高于硼,这可能是由于在加热过程中以氮作为保护气体有关。

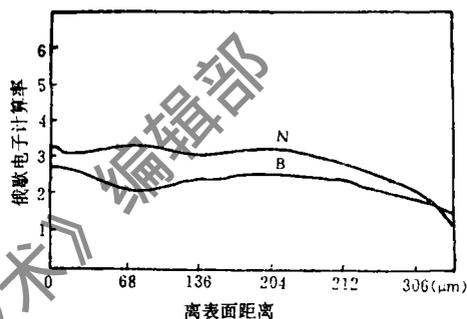


图1 激光BN共渗层的俄歇电子线扫描能谱

2. 共渗层的物相分析

为了弄清渗入45钢表层的氮硼元素与基体元素之间是以什么形式结合的,我们用XD-3A型X射线衍射仪对共渗层进行了X射线物相分析,如图2所示,为共渗层的X射线衍射谱图。可以看出共渗层由多种物相所组成,它们是 Fe_3N , Fe_2N , FeB , Fe_2B , $\gamma\text{-Fe}$, Fe_3C 等物相,这些物相的生成对表面强化起着重要的作用。

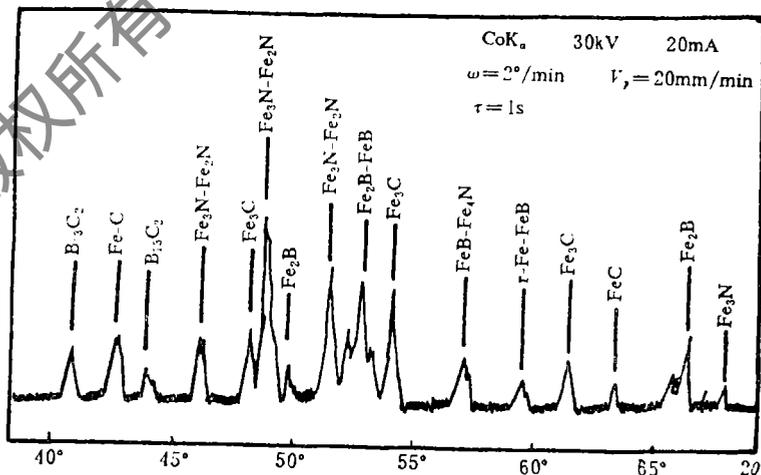


图2 激光BN共渗层的X射线衍射谱图

3. 共渗层的显微组织分析

经激光束熔化处理后的试样,用S-450型扫描电镜观察了显微组织结构,处理后的样品从表及里呈现出三个不同结构区,表面为合金化区,下面为热影响区,最下面为基体区,现

在将三个区域分析如下。

基体区：基体为45钢，它的显微组织是由珠光体和铁素体组成，因为基体区离表面较远，在激光处理过程中它起着传导热量的作用，在传导热量的过程中本身受热影响较小，所以它的显微组织未发生看得出的变化，如图3a所示。

热影响区：这个区域介于基体和共渗区之间，它受表层激光热能影响较大，在各种熔化处理的不同扫描速度下，它的温度都能达到奥氏体化温度。当移去加热的激光束后，表面急剧冷却，而奥氏体部分转变成马氏体组织，这个区域的显微组织由针状马氏体和残留奥氏体所组成，如图3b所示。

合金区：合金区是直接受激光束辐照区域，在相同的涂层厚度和激光功率的条件下，改变扫描速度，用电镜拍摄的显微组织照片如图3c，3d所示。从照片可看出，不同扫描速度其显微组织结构也不同。图3c扫描速度为4mm/s，其显微组织呈现胞状晶，晶胞较粗大，晶体排列较松散。图3d扫描速度为8mm/s，其组织呈现出细小的胞状晶，晶胞较细小，晶体排列较紧密。由于扫描速度小时，激光束在表面停留时间长，表面吸收热量多，在相同的传热条件下，冷却速度较慢，晶粒生长时间长，因而晶粒较粗大。反之，扫描速度快时晶粒较细小。

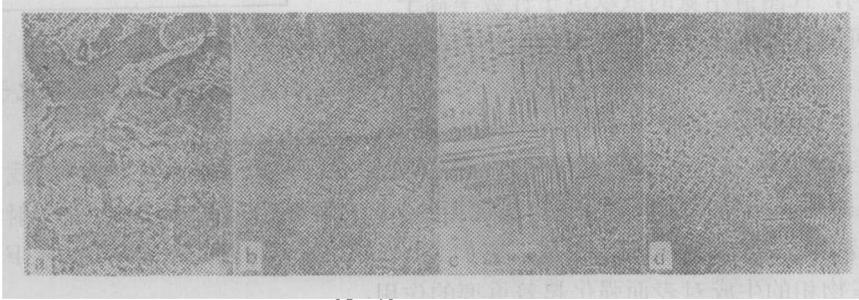


图3 共渗层的显微组织分析

a—基体显微组织结构 ($\times 1000$) b—热影响区显微组织结构 ($\times 1000$)
c—扫描速度为8mm/s共渗层显微组织 ($\times 1000$) d—扫描速度为4mm/s
渗层显微组织 ($\times 1000$)

4. 扫描速度对硬度分布的影响

用71型显微硬度计测量了两种不同扫描速度下样品的分布曲线，合金1为扫描速度8mm/s的硬度分布曲线，合金2是扫描速度4mm/s的分布曲线。从两条曲线对比可知，扫描速度快时，合金层的硬度大，合金层厚度薄，且热影响区的厚度也薄。扫描速度变慢时，合金层的硬度变小，合金层的厚度变厚，而热影响区也变厚，这种现象是符合激光合金化的吸收、传热和冷却结晶规律的。如图4所示。

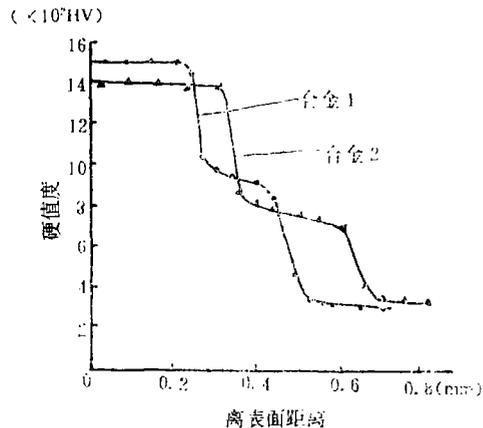


图4 硬度分布曲线

5. 耐磨性能的测定

图5是激光束扫描速度8mm/s和4mm/s两样品与基体耐磨性的对比曲线。可以看出合金层的耐磨性能有很大的提高, 其原因是由于合金层渗入了大量的氮和硼元素, 这些元素进入基体中, 由于元素间的亲和力作用与基体中的Fe元素结合生成了大量的硬质物相如FeB, Fe₂B, Fe₂N, Fe₃N等, 这些物相的存在对金属材料表面强化起着决定性的作用。

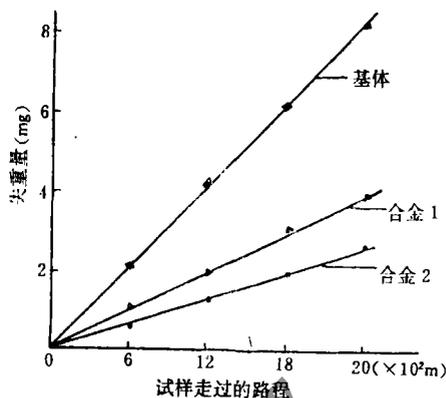


图5 磨损对比曲线

四、讨 论

一般说来, 改变金属或合金表面的化学成分, 主要决定于处理温度和添加的物质元素, 现在就这两个方面对共渗层的形成机理作一些讨论。在温度方面, 本实验采用2kW激光器作为热源, 理论计算和实际测量结果表明, 用2kW的激光束辐照涂敷合金元素的基体金属表面时, 表面温度达到摄氏几千度是不困难的, 而且根据实验要求, 通过改变激光功率、光斑尺寸和光束扫描速度, 适当地调节表面温度高低, 同时激光束还可以调整到工件的适当部位, 所以大功率连续波CO₂激光器就成为目前金属或合金材料表面强化和改性的一种理想热源。

共渗层形成的机理是由于在基体金属材料表面涂敷一种或者多种合金化元素, 在激光束的辐照下, 吸收了大量的激光能量, 这些能量使表面层的合金化元素和薄层基体金属材料都达到熔化状态, 这时合金元素和基体元素都同处于熔池中。在高温液态状态下, 熔池中的各种元素自行扩散速度较大, 同时表层的温度梯度引起的表面张力和重力等因素的作用也加快了, 熔池中各种元素的相互扩散, 相互掺和以致在短时间内各种元素就能达到均匀混合的效果。当移开激光束, 急剧冷却时, 由于各元素之间存在一定的亲和力作用, 使得元素相互结合成一定的化合物相, 如Fe₂B, FeB, Fe₂N, Fe₃N等, 这些全是由铁元素和硼元素之间的亲和力作用形成的。

五、结 论

1. 利用高功率CO₂激光束作为热源, 能在常用45钢表面生成含有Fe₂B, FeB, Fe₂N, Fe₃N硬质物相。
2. 激光束作为热源, 加热和冷却速度都非常快, 使表面共渗层晶粒细化程度大大提高, 使表面强化产生极为有利的效果。
3. 利用高功率CO₂激光束制备共渗层比常规化学热处理优越得多, 有广阔应用前景。

参 考 文 献

- [1] Gnanamuthu D S. Opt Engng, 1980; 19(5): 783~792
- [2] 郑克全, 张思玉. 科学通报, 1988; 33(15): 1144~1147
- [3] 张思玉, 郑克全. 中国激光, 1988; 15(12): 742~745
- [4] 郑克全, 张思玉. 物理学报, 1988; 37(10): 1647~1651