

铬碳合金层组织和性能随激光扫描速度的变化*

张思玉 郑克全

田良鸿

(兰州大学物理系)

(甘肃省分析测试中心)

摘要: 用CO₂激光束以不同扫描速度对45钢表面进行了铬碳合金化处理, 对处理的样品进行了合金化元素分布、显微组织结构、硬度分布的分析和耐磨损性能的试验观察; 并讨论了扫描速度与合金层的组织和性能之间的关系。

Change of structures and properties of Cr-C alloyed layer with laser scanning speeds

Zhang Siyu, Zheng Kequan

Tian Lianghong

(Department of Physics,
Lanzhou University)(Gansu Centre of analysis
and measure)

Abstract: This article presents our experimental procedure for the surface alloying of the 45 steel by a CW CO₂ laser with various scanning speeds. After laser alloying treatment, the alloyed layer has been synthetically analysed on the distribution of elements in the alloyed layer, microstructure, distribution of hardness and wear resistance of the alloyed layer. The relation between the structures, properties of alloyed layer and laser scanning speeds has been presented.

一、引言

在常规化学热处理中,常在普通钢材表面渗碳、渗铬或者几种元素共渗以改变金属材料表面性能,人们已在气体、固体和液体中渗铬、渗碳进行了大量的研究工作,取得了很大的成果。这些成果在国内外的工业生产上得到广泛的应用。实践证明,金属表面渗铬和渗碳后作为抗高温氧化和抗酸碱水溶液的保护层有许多优点,但存在周期长,耗能大,劳动条件差,自动化条件差且伴有污染等缺点。采用激光合金化处理,即在一般常用碳钢表面涂敷一定量待合金化的元素,在激光束的辐照下,使涂敷层和碳钢基体薄层达到熔化的程度,合金元素在熔化碳钢表面混合和扩散,待表面层冷却凝固后,就得到合金化的表层。这种合金层的化学成分、显微组织、机械性能与基体材料相比发生了很大的变化,如果控制得当就能达到金属

*甘肃省自然科学基金资助项目。

或合金部件表面强化的目的。采用激光合金化处理的优越性在于它能克服常规化学热处理伴随的缺点，因此是化学热处理强有力的竞争者。

二、实验条件和办法

本实验选用的是铬粉和碳粉混合物为涂敷材料。它们之间按重量比为 $Cr : C = 4 : 1$ ，两种粉末未经研磨后其粒度均小于300目。基体材料为45钢，试件加工成 $20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 6\text{mm}$ 的金属块，将试件去油脂清洗后，用有机溶液将铬和碳的混合粉末调合成粉浆涂敷在45钢基体表面上，厚度约为 0.20mm 。

激光处理条件：采用2kW连续可调 CO_2 激光器，控制输出功率为135kW，光斑圆形，光束直径约3mm，扫描速度在 $2\text{mm/s} \sim 20\text{mm/s}$ 间变化。

三、实验结果与分析

1. 合金元素在合金层中的分布

图1是采用多功能俄歇能谱仪(PHI-595型)沿合金层表面层由表及里分别对铬和碳元素进行了俄歇线扫描图谱检查。由图可以看出，沿深度范围内Cr和C在合金层中分布是均匀的，且两种元素渗入深度基本相同。合金化层中合金元素在表面熔化层能迅速均匀混合的机理，主要可能有三种原因：

(1) 活性的铬和碳原子在较薄的半圆形熔池中扩散速率比在固态扩散速率大得多，而熔池的深度约几百微米，短时间内活性原子就能达到均匀分布。

(2) 在熔池中有从液体最高温度处(一般来说，应该是激光束对熔池作用中心)指向最低温度处(熔池与固体交界处)的辐射状温度梯度，引起液体中存在表面张力梯度，从而引起液体由中心向较冷的边缘流动，加速了活性原子向纵深方向扩散。

(3) 激光束与金属表面上部的大气作用，形成压力，其压力使熔池表面下陷。当激光束以扫描速率前进时，熔池也前进，熔池前沿的液体将沿着压陷向尾端流动。这种流动也是造成元素在较短时间内达到均匀分布的原因之一。

2. 合金层显微组织结构与扫描速度的关系

采用S-450型扫描电镜拍摄的合金层和热影响区的显微结构照片如图2和图3所示。

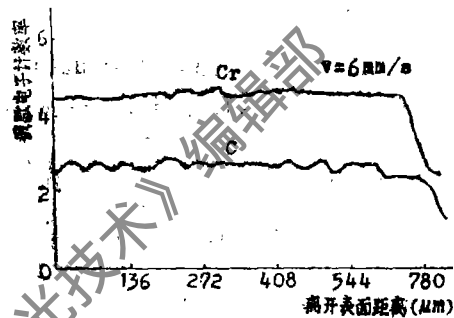


图1 合金层的俄歇线扫描图谱

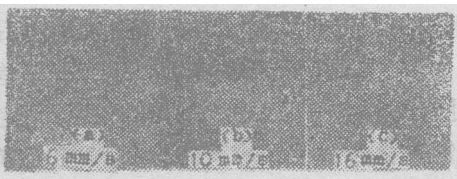


图2 不同扫描速度处理的合金层的显微组织($\times 1000$) (苦味酸水溶液腐蚀)



图3 热影响区的显微组织($\times 1000$) (a)热影响区 (b)合金层与热影响交界区

合金层：在激光束的辐照下形成合金层的显微组织形貌和性能与许多因素有关，如添加

元素种类，激光功率和扫描速度，基体温度梯度，冷却的速率等。在图2中显微组织是添加铬碳元素，从(c)到(a)输入热量由小到大（也就是扫描速度由大到小），基体过热程度由小到大，基体中的温度梯度由大到小，显微组织晶粒细化程度由小到大。三张照片还有一个共同点是合金区内晶核首先在未熔化基体处形成，移去激光束，在熔化区冷却过程中，晶粒沿熔化区内部向表面生长，最后由熔化区内部向表面形成树枝状的结晶。这些合金层含有马氏体、铁素体加残余奥氏体和少量的 M_3C 和 M_7C_3 的小颗粒。对铬元素定量分析表明，铬元素在合金层的重量比达到16%，这就使合金层具有不锈钢的性能。

热影响区：图3(a)，由于表面吸收了大量激光的能量而处于熔化状态。基体吸收这些热量时，在一定范围内升高到奥氏体化的温度，由于冷却速率大，热影响区就可能转变成板条状马氏体和残余奥氏体组织。

合金区与热影响区交界处组织一般文献报导称合金层与基体形成冶金结合，它们之间结合形状如何则很少提到。从图3(b)可以看出，它们有明显的界限。晶粒沿未熔化表面长大，晶粒楔入基体，这些晶粒连成柱状伸向未熔化区的内部，楔入部分不再封闭。合金层的凝固先是从交界处某些有利于成核部位开始，然后这些核向熔化区推进，成为晶粒，在这些晶粒之间形成晶界。又因为基体是高温状态的奥氏体，其晶界较疏松，当合金区晶体与晶界相接触时，合金化元素进一步扩散，因此形成了合金层晶粒楔入基体的现象，即合金层与基体之间形成冶金结合。

3. 合金层厚度 H 与扫描速度 v 的关系

实验测出熔池最大深度 H ，发现 $\lg H$ 与扫描速度 $\lg v$ 之间有直线关系，如图4所示。直线的斜率 $k = -0.49 \approx -1/2$ ，由此说明 $H \sim 1/\sqrt{v}$ 关系。

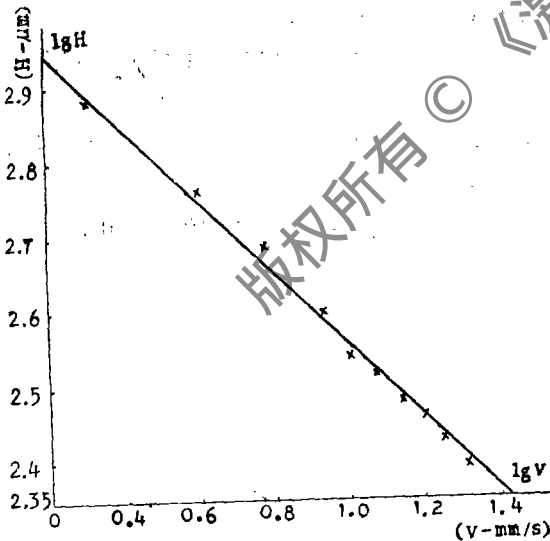


图4 熔池深度与扫描速度的关系

4. 合金层的硬度与扫描速度 v 的关系

实验使用一台71型显微硬度计，在负载为200g的条件下，测量了不同扫描速度下试样熔化区的硬度值，其硬度值按扫描速度分布如图5所示。从所得曲线可以看出，速度在2 mm~20 mm/s范围内，硬度有一个最大值，其值可达到HV1200左右。通过激光合金化处理后的

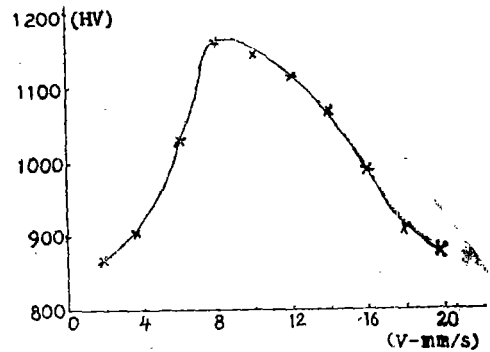


图5 合金层硬度与扫描速度的关系

熔化区其硬度值与基体相比有很大的提高(45钢基体的硬度值约为HV260左右)。熔化区硬度值提高的原因是由于激光处理是一个快速熔凝过程,而合金层内形成细小晶粒组织,添加的合金元素在熔化区内生成强度较高的 M_7C , M_3C 等碳化物均匀分布在熔化区中。由于加热使试样的组织发生变化,这些都可能是表层强化的原因。

5. 合金层耐磨性能的测定

实验是在一台DMJ-1往返式磨损试验机上进行的。负载为2.0kg,选用M-2 Al_2O_3 抛光粉配制成浓度为10%的抛光液作为磨料,每次样品磨损路程达到600m后,用十万分之一的精密分析天平测定样品的损失量,对几种不同扫描速率的样品和基体磨损试验结果的对比曲线如图6所示。从磨损曲线可以看出,经不同扫描速度激光处理后的三种样品,其耐磨性能与基体材料相比都有一定的提高,其中磨损性能最好的是扫描速度为10mm/s,它的耐磨性与基体材料相比提高了近一个数量级。

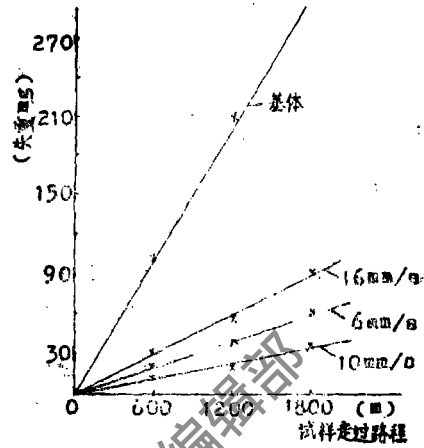


图6 耐磨损比较曲线

四、结 论

1. 用高功率 CO_2 激光器在45钢表面进行Cr-C合金化可以在表面生成不锈钢型表面,添加合金元素的扩散仅发生在局部熔化区,合金层和基体形成冶金结合。
2. 合金层中,合金化元素的分布是均匀的。扫描速度对显微组织影响较大,扫描速度加快晶粒的晶粒度变细,但慢扫描可得到厚的合金层。
3. 合金层的性能较基体有很大提高。在合适扫描速度下,硬度值可达HV1200以上,约比基体提高近5倍,耐磨粒磨损性能较基体提高近10倍。
4. 当激光功率密度不变时,熔池深度差不多和激光扫描速度的平方根成反比。

参 考 文 献

- [1] Opt. Eng., 1980, Vol. 19, No. 5, P. 783.
- [2] 《中国激光》, 1987年, 第17卷, 第9期, 第571页。
- [3] Ed. J. F. Ready., 1979, P. 147~166.

* * *

作者简介: 张思玉、郑克全, 请参阅本刊1988年, 第12卷, 第2期, 第18页。
田良鸿, 男, 1962年7月出生。研究实习员, 从事固体材料方面的研究。

收稿日期: 1988年10月29日。