

# 碳钢表面激光TiN合金化的研究

郑克全 张思玉

(兰州大学物理系, 兰州)

**摘要:** 本文介绍了用一台CO<sub>2</sub>激光器对碳钢表面进行了TiN激光合金化处理, 对处理后的合金层的组织结构、相形貌、合金元素的分布、硬度和耐磨性能进行了测试和分析, 结果表明: TiN激光合金化使45#钢基体产生了多种强化效果, 使基体金属表面性能有很大的提高

## Study of TiN laser alloying in the carbonic steel surfaces

Zheng Kequan, Zhang Siyu

(Department of Physics, Lanzhou University)

**Abstract:** The experimental procedure for the TiN laser alloying in the carbonic steel surface by using a CO<sub>2</sub> laser is described. A comprehensive analysis of the phase structure, the phase morphology, the distribution profile of the alloying elements, the hardness, and the resistance to abrasion of the alloyed layer after laser treatment is introduced. The results indicate that TiN laser surface alloying will give many strengthening effects on the carbonic steel surface. The characteristic of the base metal surface can be greatly ameliorated.

### 一、引 言

激光合金化就是将合金元素设法涂置于基体金属材料的表面, 利用高能密度的激光束把置于表面的合金元素熔入工件表层。合金元素可以是金属(如铬、钼、钨、铁等)或非金属元素(如碳、氮、硼、碳氮、碳硼和碳氮硼等), 也可以采用难熔金属的氧化物、碳化物、氮化物和硼化物等, 这些合金元素熔入基体金属材料后形成多种物相, 改变了基体金属的化学成分和组织结构, 基体表面形成特殊性能的合金化层<sup>[1~4]</sup>, 这可使廉价的普通金属材料

作者简介: 李国华, 请参见本刊1990年第3期第54页。

吴华友, 女, 1964年10月出生。理学硕士, 助教。主要从事理论物理研究工作。

于德洪, 男, 1962年出生。理学硕士, 讲师。现在从事激光偏振器件与技术和光学测试研究工作。

收稿日期: 1990年1月22日。

表面获得高合金材料所具有的特殊性能。与常规化学热处理相比,激光合金化具有效率高、合金元素消耗少、处理周期短、工件变形小、不需要淬火介质、较容易实现自动化处理等优点。

## 二、实验条件和 方法

在实验中,我们采用了一台JL-6型横向流动CO<sub>2</sub>激光器,其输出功率为2kW,激光束用焦距为250mm的砷化镓透镜聚焦,光斑为圆形,多模工作,激光光斑直径为3mm,激光功率和扫描速度根据实验的要求可任意调节。

实验用的基体金属材料为普通的45#钢,加工成20×20×7mm的金属块,并进行了表面研磨和清洁处理,除去油脂和污物后待用。合金化材料选择尿素(CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>)和二氧化钛(TiO<sub>2</sub>)等粉末混合而成,粉末的重量比为CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>:TiO<sub>2</sub>=1.1:1,两种粉末混合后研磨成粒度小于250目的微粒,然后将粉末加合适的有机粘结剂调合成粉浆,均匀涂敷在基体金属材料的表面上,涂层厚度约为0.2mm,由于粉末材料对10.6μm波长的激光束具有较强的吸收能力,因此在涂层的表面上无须再加入能量吸收剂。

## 三、实验结果和 分析

### 1. 氮和钛两种元素在合金层中的分布

在激光合金化实验中添加元素是否渗入合金层中是激光合金化的关键所在。为此,我们采用一台高精密PHI-505型多功能俄歇电子能谱仪对合金层中的氮和钛两种元素的分布由表及里做了俄歇谱线扫描测试,图1为合金层的俄歇电子线扫描能谱图。从图中可以得到如下两条有意义的结果:(1)氮和钛两种元素均渗入基体金属材料的表层中,而且在合金中的扫描谱线起伏不大,这说明了这两种合金元素在合金层沿深度方向分布是均匀的;(2)从图1中还可看出,钛元素比氮元素的俄歇电子计数率高,这可能是钛原子量比氮原子量大,在激光束辐照时,表面温度较高,氮原子比钛原子容易挥发,离开表面的氮原子比钛原子多,所以在合金层中这两种元素相对含量存在一定的差别。

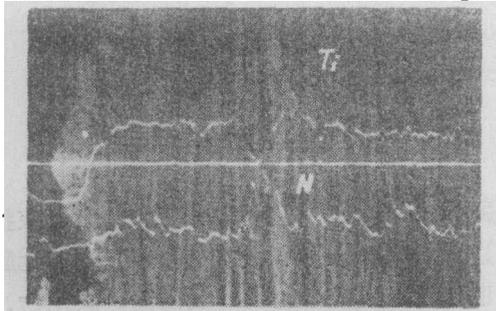


图1 合金层中合金元素分布俄歇  
线扫描图谱

### 2. 合金层的物相分析

为了弄清合金元素氮和钛与基体材料中的各种元素以什么形式结合的,我们采用了一台XD-3A型X射线衍射仪对合金层做了X射线衍射物相分析,图2为合金层的X射线衍射图谱。当样品表面在激光束辐照加热时,添加在表面的合金元素和基体材料都达到熔化状态,而大量的氮、钛、碳和铁元素同处于熔池中,由于表层的温度梯度引起的表面张力和激光束与合金层表面上的大气作用形成等离子体和重力作用等效应,在极短时间内就使各种元素在熔池中相互扩散、相互掺和,达到均匀混合的目的。当激光束加热撤离之后,表层在急剧冷却的条件下,渗入合金层中的氮和钛元素与基体中的铁和碳元素生成TiN、TiC、Fe<sub>3</sub>N、Fe<sub>2</sub>Ti、Fe<sub>2</sub>N、α-Fe等多种物相,这无疑对合金层的强化作用起着极其重要的作用。

### 3. 合金层的显微组织分析

采用了一台S-450型扫描电子显微镜对激光处理后的样品拍摄了显微组织的结构相片。

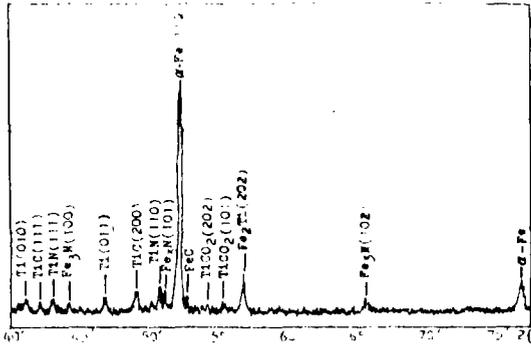


图2 合金层X射线衍射图谱

该样品的显微组织结构明显地分成了三个不同组织的区域,最表层是激光合金化区,在合金区的下部为热影响区,最下面为基体区。对三个区域分别拍摄了显微组织相片,如图3所示。图3a所示为典型的45#钢基体的显微组织,其组织结构为铁素体和珠光体所组成。图3b所示为热影响区的显微组织,其组织呈现出板条状结构,这个区域介于合金层和基体之间,这是由于表层受到激光束辐照时,表层吸收了大量激光能量而被熔化,表面上的热量绝大部分由基体传走,在这个区域内的温度上升到奥氏体化的温度,随后在冷却过程中奥氏体部分转变成马氏体组织,因此这个区域主要是由马氏体和残留奥氏体组织所组成。图3c所示是合金层的显微组织,它是由 $\alpha$ -Fe, TiN, TiC,  $Fe_3N$ ,  $Fe_2Ti$ 等多种化合物物相所组成,合金层的组织形貌呈现出细小、均匀的胞状晶组织。合金层形貌与基体相比有很大的变化。除以上两点外,合金层的晶粒度细化程度与基体相比也有很大的提高,

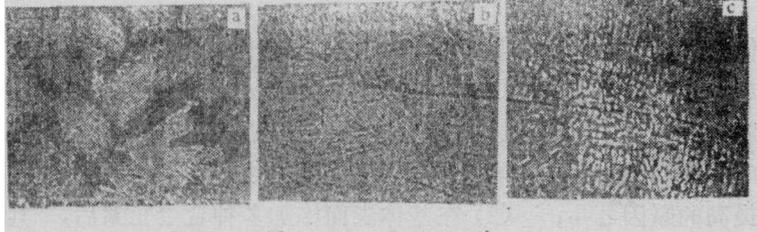


图3 显微组织照片

a—45#钢基体 (1000 $\times$ )    b—热影响区 (1000 $\times$ )  
c—合金层区 (1000 $\times$ )

这是由于晶粒形状和大小与冷却速度及温度梯度有密切关系。当合金层处于熔化状态时,撤离激光束热源,合金层由于绝大部分热量被基体迅速传走而凝固,晶粒在未进一步长大之前表面已凝固了,这也是激光对金属材料局部强化处理的优越性之一。

#### 4. 合金化处理后显微硬度的分布

采用了一台71型显微硬度计测定了激光合金化处理后样品硬度分布曲线,如图4所示:曲线呈现出三个台阶形状,表明了样品从表至里可分为合金层、热影响区和基体区三个区域。在200g的负载下,合金层的硬度值达到1400HV以上,这是由于合金层内含有多种硬质化合物,而且合金层的晶粒细化程度很高,使得表面的硬度值有很大提高;进入热影响区,硬度值达700HV,这是由于热影响使基体温度升高到奥氏体化温度,随后在冷却过程中奥氏体转变成板条状马氏体组织,这就是所谓激光淬火的强化作用使热影响区硬度值提高的原因;最下层是基体区,硬度值约300HV。

#### 5. 合金层耐磨性能的测定

将一块经激光合金化处理后的样品(尺寸 $20 \times 20 \times 7$ mm)和一块大小形状完全相同的基体,在DMJ-1型磨损机上进行对比磨损实验。磨料为2#金刚砂,负载为2kg。每走完600m路程后,用十万分之一的精密分析天平测定样品的磨损失重量。测量结果如图5所示。从磨损曲线可以看出,激光氮钛合金化层的耐磨性能与基体相比提高了近一个数量级。其原因主要有以下两点:(1)激光合金化处理是对金属材料局部加热,由于激光功率大,加热使表面熔

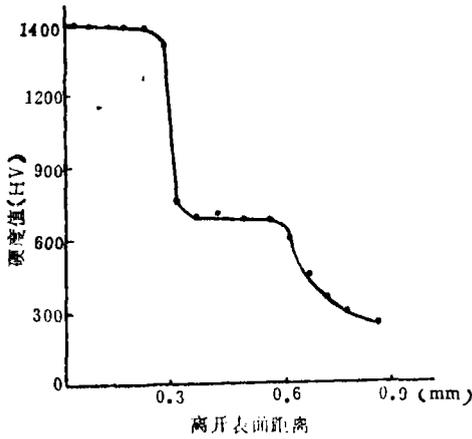


图4 样品硬度分布曲线

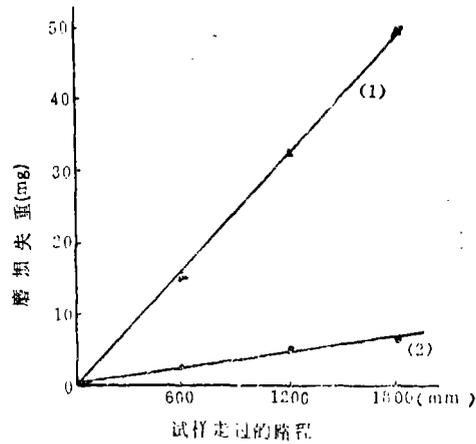


图5 合金层耐磨对比曲线

1—基体 2—合金层

化的时间短,大部分热量集中在工件表面薄层内,撤离激光束热源后,主要热量由基体传走,表面熔化层在凝固过程中沿热流方向生长成胞晶状组织;又由于表面添加了多种合金元素,在熔池中它们成为晶核生长源,由于冷却速度大,熔化区在晶粒未进一步长大之前已变成固态,这样就使得合金层成为晶粒非常细小、均匀分布的胞状晶组织,这是表面耐磨性能提高的原因之一;(2)在基体表面添加多种合金元素后,其小部分由于激光加热时变成气态而逸散了,但绝大部分则熔化成液体,同时基体表层也处于熔化状态,在重力、温度梯度以及表面张力的作用下,合金元素和基体元素同处于一熔池中相互碰撞、相互掺和,在极短的时间内达到均匀分布,在凝固的过程中,添加的合金元素氮和钛与基体中的元素相互结合成TiN、TiC、Fe<sub>3</sub>N、Fe<sub>2</sub>Ti等硬质化合物,这些化合物具有硬度高、耐磨性能好等特点,无疑这是合金层耐磨性能提高的又一原因。

#### 四、结 论

1.利用高功率CO<sub>2</sub>激光束对45#钢表面实现了氮和钛元素的合金化处理,使氮、钛元素均匀地渗入到金属工件表层内,并形成了多种硬质化合物。

2.激光合金化处理可使普通碳钢表层的化学成分发生根本性的转变,能使普通碳钢表层具有合金钢优越性能,经济效益高。

3.经激光合金化处理后,合金元素在基体的固溶度提高,分布均匀,晶粒度细化程度提高,对合金层性能提高有很大的贡献。

#### 参 考 文 献

- [1] 郑克全,张思玉,科学通报,1988,33(15):1144~1147
- [2] 张思玉,郑克全,中国激光,1988,15(12):742~748
- [3] Banas C M, Webb R, Proc. IEEE., 1982, 70(6):556~564
- [4] Ricciardi G, Cantello M, Annals of the CIRP., 1982, 33:125~131

收稿日期:1990年3月5日。