

# 60号钢表面碳钨合金激光包覆的特性分析

张思玉 郑克全

(兰州大学物理系, 兰州 730001)

**提要:** 本文叙述了用一台高功率二氧化碳激光器在60号钢表面所作的碳钨合金包覆实验。实验结果表明在低质钢材表面包覆一层碳钨合金层大大地提高了工件表面的耐磨性能; 包层厚度与激光扫描速度的平方成反比。

**关键词:** 激光包覆, 表面强化技术, 冶金结合, 激光处理

## Property analysis for carbon-tungsten alloys laser cladding treatment on No. 60 steel surface

Zhang Siyu, Zheng Kequan

(Department of Physics, Lanzhou University, Lanzhou)

**Abstract:** This article presents our experimental procedure of carbon-tungsten alloys cladding treatment on No. 60 steel surface by means of a high power CW CO<sub>2</sub> laser. The experimental results indicate that a carbon-tungsten alloy cladding on a poor quality steel surface greatly improves its mechanical properties, the cladding thickness are inversely proportional to the square of laser scanning speeds.

**Key words:** laser cladding, surface strengthening technique, metallurgical bonding, laser treatment

众所周知, 在冶金工业中, 常常在高碳钢中加入适量的合金元素钨来得到高强度的合金钢, 但是钨的熔点极高(3380°C), 故用传统的方法很难对已成型的工件表面添加钨元素以提高其机械性能。激光束加热能使任何金属元素熔化, 故给我们提供了在普通廉价钢件表面进行碳钨合金的激光包覆和合金化的可能性, 本文介绍了我们在60号钢的基体表面进行碳钨合金激光包覆的部分实验及分析测试结果。

### 一、实验条件和方法

#### 1.1 涂层材料及基体

本实验选用碳粉、钨粉和铁粉三种粉末的混合物作为涂敷层材料, 三种粉末按重量比为C:W:Fe=2:3:5的比例混合后经研磨使粒度均小于300目。基体材料为60号钢, 试样基体加工成20×20×8mm<sup>3</sup>的块状, 加工好后的基体试样除去油脂、污渍, 清洗干净, 然后用有机

粘合剂(X<sub>98</sub>-11)将合金粉末调合成粉浆,均匀地涂敷在60号钢基体表面上,涂敷层的厚度可按需要改变。

### 1.2 激光处理方法

本实验采用一台JL-6型高功率CO<sub>2</sub>激光器,其输出功率为0.5~2kW连续可调,激光束经焦距 $f=250\text{ mm}$ 的砷化镓透镜聚焦,光斑为圆形,直径为3mm,强度呈高斯分布,激光功率固定为1.6kW,激光扫描速度根据不同的涂层厚度分别取4~10mm/s,涂敷层厚度按需要得到的包覆层厚度不同而变化。

## 二、实验结果与分析

我们拍摄了不同涂层厚度、不同扫描速度所得到的不同包覆层厚度的样品的低倍放大照片,如图1所示,从图中可看出激光单道扫描的横截面的涂层形状呈月牙形,包覆层和60号钢基体之间有一条明显的结合线,由此可见本实验条件下所得到的结果确实为激光包覆,而不是由基体与合金元素粉末共同参与的合金化过程。

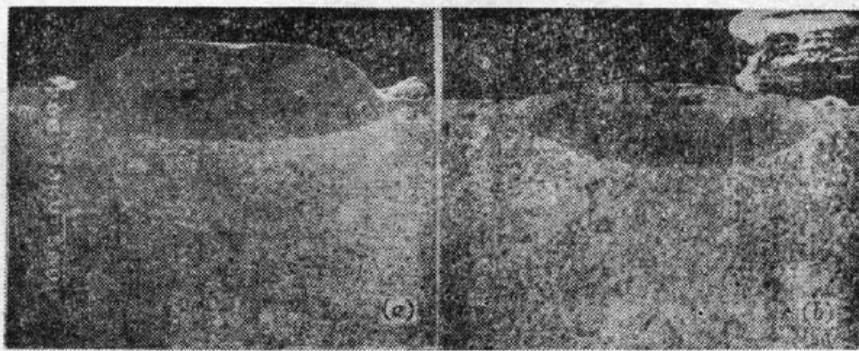


Fig. 1 Photos of the laser cladding layer

### 2.1 X-射线衍射物相分析

用XD-3A型X-射线衍射仪对所得到的激光包覆合金层进行物相分析。图2表示扫描速度为7mm/s时所得到的厚度为170 $\mu\text{m}$ 的激光碳钨包覆层的X-射线衍射图谱。从图谱中可以看到,在包覆层中存在的物相有 $\alpha\text{-Fe}$ 、 $\gamma\text{-Fe}$ 、 $\text{Fe}_3\text{C}$ 、 $\text{Fe}_2\text{W}$ ( $\epsilon$ 相)和WC等,特别应该指出的是WC正是我们所期望能在包覆层中生成的物相,这种硬质相的存在,无疑对包覆层的强化是必要的。

### 2.2 显微组织的观察

本实验采用一台S-450型扫描电镜拍摄了经激光包覆处理的试样在不同区域的典型的显微组织照片,图3所示为激光扫描速度为7mm/s的包覆层的显微组织照片。

从图3(a)可以看出60号钢的基体由大量的珠光体和少量的铁素体构成。

图3(b)为该试样靠近结合带的热影响区的显微组织照片,其组织呈板条状马氏体组织。它的形成的主要原因是当激光束辐照试样的表面时,表面层吸收了大量的激光能量,使得涂敷层全部熔化,并使基体表面一极薄层熔化,激光束移去后,这些能量迅速地传入基体使表层急冷凝固。而传入基体中的热量将使基体有限体积的温度升高到奥氏体化温度,一经快速冷却(自淬)基体产生相变。图3(c)为包覆区的合金层的显微组织照片,它呈现出典型的莱氏体

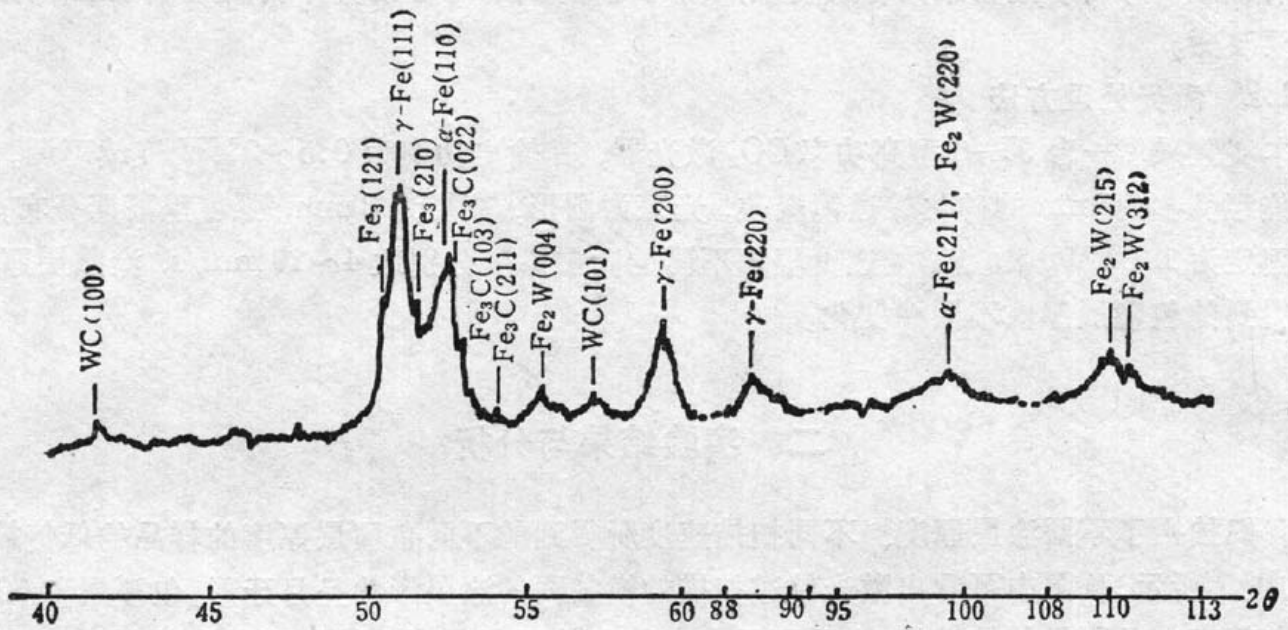


Fig. 2 X-ray diffraction spectrum of CW laser cladding layer  
( $\text{CoK}\alpha$ , 35 kV, 20 mA,  $\omega=4^\circ/\text{min}$ ,  $V_p=40 \text{ mm/min}$ )

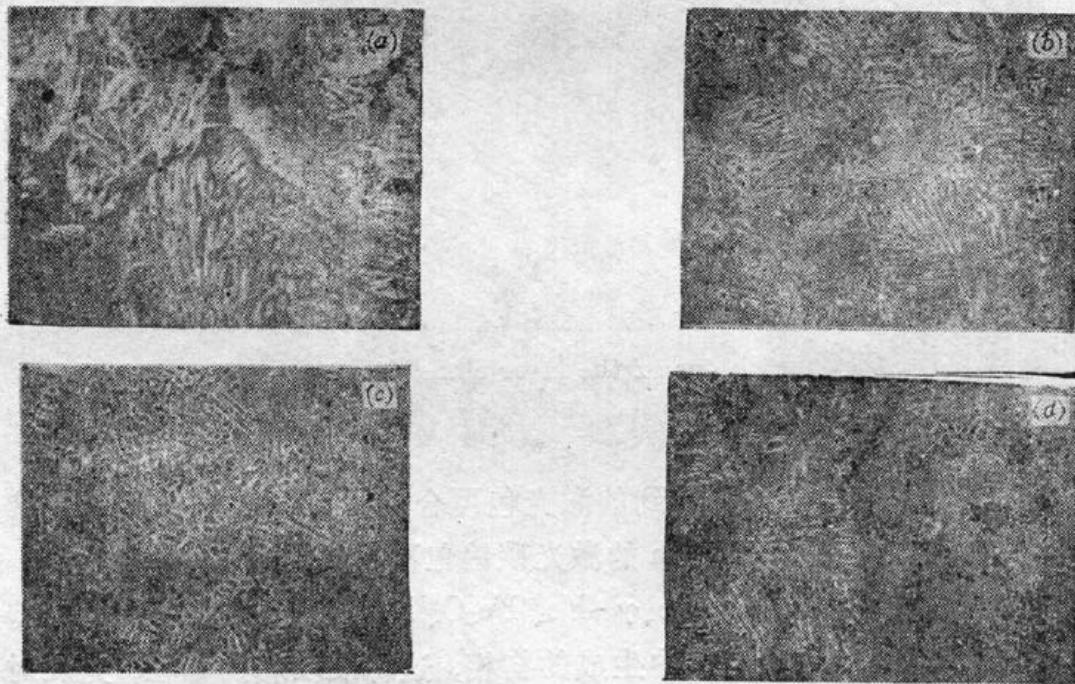


Fig. 3 Microstructure of different areas in laser cladding samples ( $\times 1000$ )  
(a) microstructure of the No. 60 steel substrate; (b) microstructure of the heat affected zone; (c) microstructure of the cladding layer; (d) microstructure of the cladding layer—combinative zone—the heat affected zone

( $\text{Fe}_3\text{C}$ +奥氏体)组织,而在莱氏体组织中还弥散分布有一些  $\text{WO}$  和  $\text{Fe}_2\text{W}$  的稳定化合物。

图 3(d)为热影响区-结合带-包覆区的显微组织照片,从中可见,激光包覆区和热影响区交界处有一宽度约为  $10 \mu\text{m}$  的过渡层,一般称为结合带。中间结合带区上的晶粒是与包覆层和基体的晶粒互相联结长大的,在结合带两侧晶粒有相互延伸的迹象,而中间结合带为固溶结晶层,其形成原因是:在进行激光包覆时,在合金粉末层被熔化的同时,基体表面薄层也被熔化,并且在交界处两者混合,在凝固过程中在两者交界处温度梯度最大,液态金属在固相表面的稳定形核功最小,所以液态金属将首先在基体原有晶粒上开始形核并长大,在一定的凝固条

件下形成胞状晶,胞状晶的生长是按一定的晶体学方向优先生长的。当熔化层凝固时,固液交界面上由于基体以很大的速度冷却,致使固液相界面上晶体生长的形态沿着与热流大致相反的方向向前推移,形成一条有一定宽度的固溶体结合带层,即晶体长大过程是通过液相原子向所有位置普遍添加的方式进行,使整个界面沿表面法线方向向液相中移动,这样由于合金元素及基体元素向处于高温疏松的晶界及晶内的扩散,使得合金包覆层与基体之间实现冶金结合,从图可观察到它们沿胞状晶之间的晶界相互扩散,在结合带边缘两侧形成明亮的角齿。

### 2.3 包覆层成分分布的特征

用电子微探针方法对激光合金包覆层进行了成分分析,测定时在样品表面层取了三个不同深度区(试样表面、离表面  $80\mu\text{m}$ 、离结合带  $20\mu\text{m}$ ),在三个深度区沿横向测定若干个点,然后对所得结果取平均值,得到的成分分布测定结果示于表 1。可以看出,在所选择的工艺参数条件下,激光包覆合金层成分宏观分布均匀,而且结果表明,碳钨合金涂层在激光包覆过程中,其组成元素只有极少量进入基材,即在处理工艺条件合适的情况下,包覆层元素几乎不被基材所稀释。并由此可以确定我们得到的是形成“激光包覆”而不是“激光合金化”。

Table 1. Distribution of the alloy elements in the cladding layer (Wt%)

Elements	C	W	Fe
Cladding surface	20.05	29.85	50.01
Middle part of cladding ( $80\mu\text{m}$ off the surface)	19.96	30.05	49.99 *
Bottom part of cladding ( $20\mu\text{m}$ off the center of the bonding band)	19.80	29.85	50.35

### 2.4 包覆层厚度与激光扫描速度的关系

合金包覆层的厚度主要取决于涂敷合适的涂层厚度。另外还与激光功率密度和扫描速度有关。在我们的实验中固定激光功率密度不变,这时选取适当的扫描速度,分别处理涂敷有不同厚度包覆合金层的试样,最后得到包覆层厚度与激光扫描速度的对应关系。将此结果按  $\lg H - \lg V$  作图(见图 4),可看出  $\lg H$  与  $\lg V$  呈线性关系,其斜率  $K = -1.9 \approx -2.0$ ,由此说明  $H \sim 1/V^2$ ,故由初步的实验结果说明,当激光束功率及光斑直径一定时,包覆层厚度与激光扫描速度的平方成反比,这一结果可供进行碳钨激光包覆实验时选择工艺条件参考。同时可以看到,激光包覆和激光合金化两种不同的处理方法中,激光处理参数之间的关系是有差别的<sup>[2]</sup>。

### 2.5 激光包覆层的硬度分布规律

用显微硬度计测定了 60 号钢表面经激光碳钨包覆处理后包覆合金层横截面上沿包覆层深度方向的硬度分布,测试结果示于图 5,横座标为  $L$  离开表面距离。硬度分布曲线具有典型的三阶梯形式,包覆层硬度最高可达 HV 2200 以上,其原因,一方面是由于表层粉末层经熔化后凝固时急冷自淬有较高的凝固速度,在一定程度上抑制了相析出与长大的过程,而且表层固溶了过饱和程度的合金元素,提高了固溶体原子键的吸引力,元素多还可形成多种化学键,使键的总强度增强,晶格畸变增加和阻止、延缓固溶体内合金元素的析出和碳化物的长大,从而使合金层的硬度提高。另一方面合金层中在固溶体中分布着碳和钨的化合物的小质点,根据位

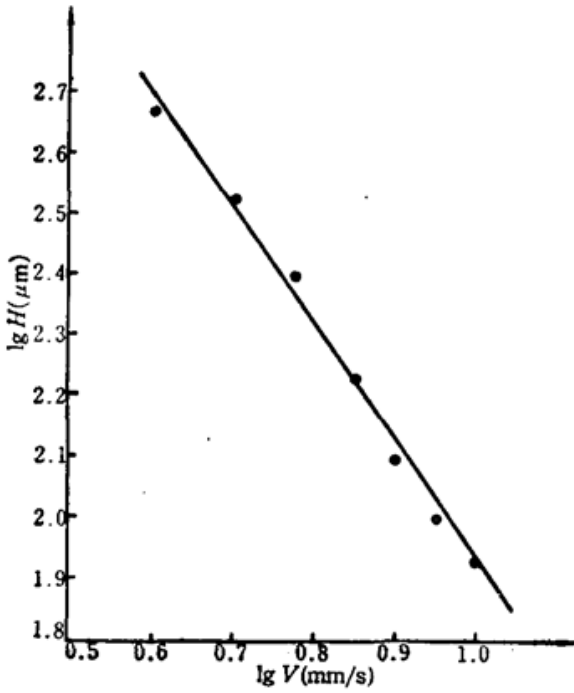


Fig. 4 Relationship between the thickness of cladding layer and laser scanning speeds

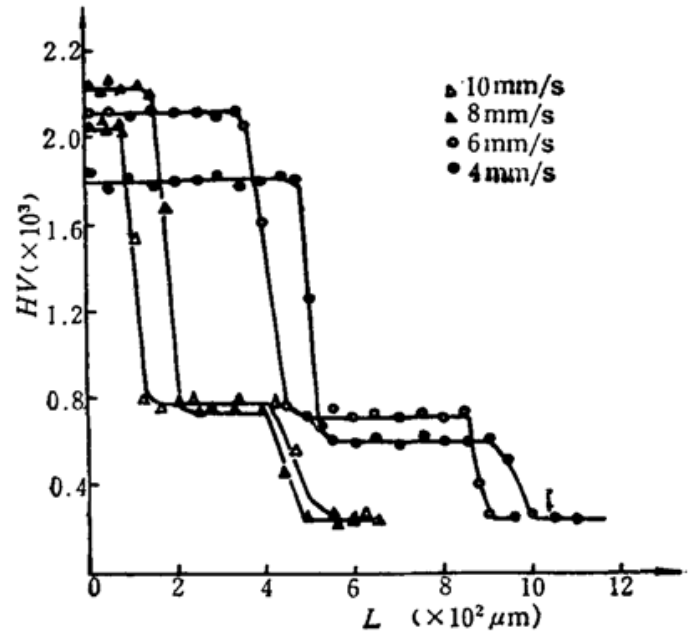


Fig. 5 Diagram of the hardness distribution

错理论, 由于位错对质点的环绕作用和切割作用, 这将使其产生显著弥散强化作用。

## 2.6 包覆层耐磨性能的测定

将经激光处理后的样品在一台 DMJ-1 型往返式磨损试验机上进行了磨损试验, 负载为 2000 g, 选用金刚砂为磨料, 样品每走完 600 m 路程后用一台十万分之一克精密天平测定其失重, 所得结果与基材对比曲线如图 6 (横座标  $S$  为试样走过路程, 纵座标为磨损失重) 所示, 从图可见耐磨性能可较基材 60 号钢提高 20 倍左右。因为耐磨性能主要取决于包覆层中存在的硬相质点, 我们的样品中加入了约 30% 的钨, 它们与碳生成硬质相 WC, 以及其它硬相质点弥散分布在包覆层中, 由此使表层产生弥散强化和过饱和固溶强化, 这是碳钨激光包覆层有较好耐磨性的主要原因。图 6 和图 5 对比, 可以发现表层硬度高的样品, 其耐磨性能亦高。

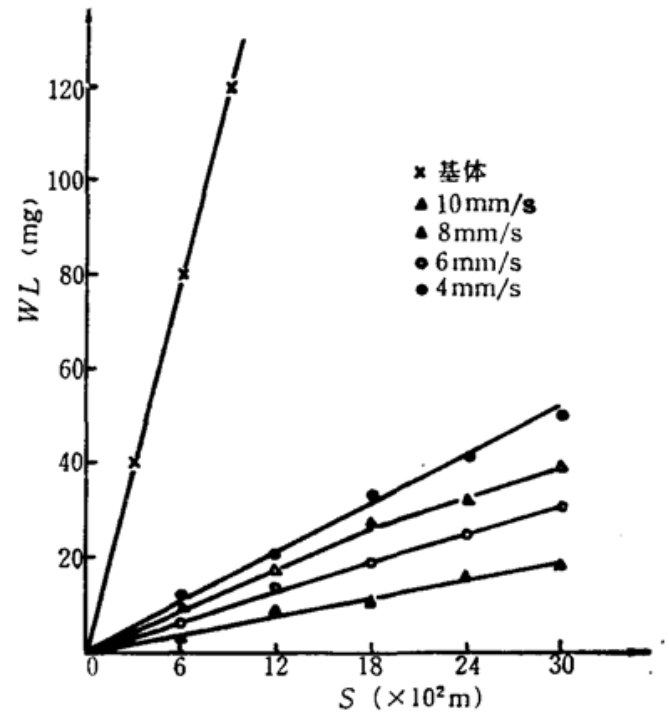


Fig. 6 Abrasion comparison test

## 参 考 文 献

- 1 张思玉, 郑克全, 中国激光, 17(1), 56(1990)